

MÉCANISME ET ÉDUCATION

DES

MOUVEMENTS

DU MÊME AUTEUR

LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN

Plan d'un enseignement supérieur de l'éducation physique. Brochure in-8 . . . . **1** fr. »

Cours théorique et pratique d'éducation physique. En collaboration avec MM. le docteur Philippe et Racine. 2e édition revue. 1 volume in-8 avec 163 fig. et 8 pl. hors texte . . . . **4** fr. »

Les bases scientifiques de l'éducation physique. 5e édition revue 1 volume in-8 avec 200 figures, cart. à l'angl . . . . **6** fr. »

Mécanisme et éducation des mouvements. 4e édition revue. 1 vol. in-18 avec 570 figures, cart. à l'angl . . . . **6** fr. »

L'Éducation de l'effort. 2e édition. 1 volume in-16. . . . . . **3** fr. **50**

L'Éducation physique des adolescents. *Préparation sportive par la méthode synthétique avec l'art de travailler.* 1 volume in-8 avec 200 croquis schématiques par l'auteur. . . . . **2** fr. **50**

Éducation et Harmonie des mouvements (*Éducation physique de la jeune fille*). *Nouvelle édition.* 1 volume in-8 avec 276 figures et deux planches hors texte . . . . **5** fr. »

Nouveaux instruments d'anthropométrie. Brochure avec figures.

Guide du maître chargé des exercices physiques. 4e édition. Avec 289 figures (Librairie Lamarre).

L'École française. *Évolution de l'éducation physique; phases historique, critique et expérimentale.* Avec 95 figures et portraits (Fournier, édit.).

Danses gymnastiques. En collaboration avec A. Sandoz. Musique et nombreuses figures (Vuibert, édit.).

Le Violoniste. *Art, mécanisme, hygiène.* Avec 52 figures (Maloine, éditeur).

Tableaux muraux pour l'enseignement par l'image de l'éducation physique. (Deyrolles, èdit.).

Essai d'une méthode positive d'éducation physique (Paulin, édit.).

Physiologie artistique. *Album de chronophotographies.* En collaboration avec le professeur Marey (Librairie Lamarre).

Conférence au Conservatoire des Arts et Métiers sur la *Chronophotographie* (Gauthier-Villars, édit.).

Étude sur les appareils chronophotographiques. Avec figures.

Rapport et comptes rendus du Ier Congrès international d'Éducation physique en 1900 (Imprimerie nationale).

Les origines du cinématographe, avec figures (Paulin, édit.).

Historique de l'Éducation physique en France. Article du Dictionnaire de pédagogie de Buisson (Hachette, édit.).

MÉCANISME ET ÉDUCATION

DES

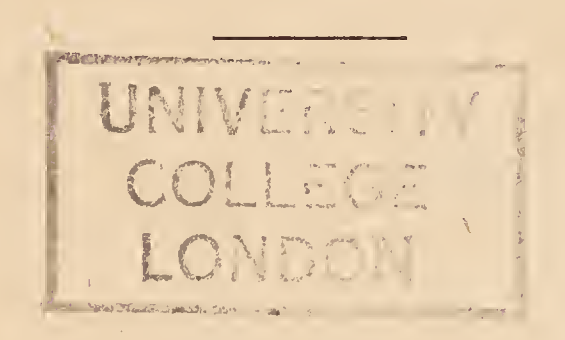
MOUVEMENTS

PAR

GEORGES DEMENŸ
Professeur du Cours d'éducation physique de la Ville de Paris.
Directeur du Cours supérieur de l'Université.

Cinquième édition, revue

AVEC 570 FIGURES DANS LE TEXTE



PARIS
LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

1920

AVANT-PROPOS

Nous avons exposé précédemment[1] comment nous avons été amené à consacrer de longues années à des recherches expérimentales sur l'influence bienfaisante de l'exercice au point de vue éducatif.

Nous avions laissé de côté, avec intention, la partie technique se rapportant spécialement au mécanisme des mouvements. Cette partie est assez importante pour être traitée à part et être développée tout particulièrement. Nous nous proposons de le faire dans cet ouvrage.

Le lecteur y trouvera les travaux originaux que nous avons exécutés quand nous étions chef du laboratoire de la Station Physiologique et que nous avons continués depuis. Plusieurs d'entre eux ont déjà été publiés ailleurs, soit en collaboration avec M. le professeur Marey, soit dans des publications trop spéciales pour être connues du grand public.

Des auteurs peu scrupuleux en ont même déjà donné des extraits en les démarquant et, plus empressés de faire un livre que d'instruire le lecteur, ils ne leur ont pas laissé leur principale qualité, c'est-à-dire leurs liens et leur plan logiques.

Aussi avons-nous cru nécessaire de réunir toutes ces recherches en leur conservant le caractère original qu'elles avaient dès le début, et en insistant sur le bénéfice pratique qu'on peut en tirer dans l'éducation. C'est pourquoi nous avons intitulé ce recueil : *Mécanisme et éducation des mouvements.*

Dans notre pensée, la science doit de plus en plus éclairer les méthodes empiriques d'éducation. Les hommes nouveaux que

1. *Les bases scientifiques de l'Éducation physique*, 4e édition; Paris. F. Alcan, 1909.

les préjugés n'ont pas encore aveuglés trouveront, je l'espère, intérêt à ces travaux. Ils auront devant eux un vaste champ d'études touchant à l'économie sociale comme la zootechnie touche à l'agriculture et à l'élevage.

Ces études sont encore peu comprises du public, elles sont trop positives pour posséder l'attrait du merveilleux et de l'extraordinaire. L'habitude et avec elle la faculté de méditer et de raisonner se perd ; on préfère les livres faciles qui ne demandent aucun effort, l'amour de la forme remplace les qualités de fond ; on oublie souvent qu'un livre est fait pour y apprendre quelque chose et non seulement pour charmer. Les travaux sur les mouvements ne peuvent prétendre à satisfaire les esprits superficiels. Aussi ceux qui s'y adonnent doivent-ils fatalement subir un isolement momentané, isolement fort pénible à supporter s'il n'était adouci par la conviction et l'espérance de faire œuvre utile.

Notre ami Quignolot nous a encore prêté son concours, il a fait revivre par le crayon l'expression du mouvement fixé par la photographie; il serait à souhaiter que tous les livres de ce genre soient rendus aimables par le secours de l'Art. La Science et l'Art ont des points communs. Notre regret est de n'avoir pu suivre nos tendances à ce sujet et d'avoir été arrêté par des difficultés d'ordre matériel. Le lecteur nous pardonnera l'insuffisance artistique de quelques dessins en ne leur accordant qu'une valeur purement schématique.

G. Demenÿ.

MÉCANISME
ET
ÉDUCATION DES MOUVEMENTS

CHAPITRE PREMIER

DESCRIPTION ET MÉCANISME DES MOUVEMENTS

L'éducation physique se propose d'augmenter la force de l'homme ; ce n'est pas son seul but, mais c'est incontestablement l'un des plus essentiels. Si l'on cherche à acquérir trop vite ou trop tôt cette force, on aura de cruelles déceptions, elle doit être obtenue sans rompre l'équilibre de l'organisme, les organes qui l'engendrent doivent se modifier lentement pour se mettre en rapport avec le surcroît d'énergie dépensée.

Les connaissances d'hygiène et de psychologie appliquées suffisent pour amener l'homme à son entier développement; mais la force une fois acquise, il faut savoir la dépenser et l'utiliser au mieux sans gaspillage. L'étude du mécanisme des mouvements permet de connaître cette utilisation et en fait saisir toutes les délicatesses. Quand on approche de la perfection, ce sont les petites choses qui importent ; l'affinement de la coordination des mouvements ne peut se comprendre sans connaître les différents actes de la locomotion. Un sujet devient plus adroit, tire de ses forces un avantage plus grand, c'est dans le perfectionnement de ses mouvements qu'il faut en chercher la cause.

§ 1er. — Causes du mouvement. — Forces intérieures et extérieures du corps.

Notre corps est soumis aux mêmes lois que les machines ordinaires ; les mouvements des membres, le déplacement du corps en masse sont dus à l'action de forces intérieures ou extérieures.

Les premières prennent naissance dans nos muscles, changent la forme de notre corps et les positions relatives des os ; ce sont la contraction et la tonicité musculaires, l'élasticité et la résistance de nos tissus.

Les secondes forces sont extérieures, constamment en antagonisme avec les premières. Notre corps et nos membres sont pesants ainsi que les haltères, barres, massues et autres appareils portatifs dont nous nous servons pour augmenter nos efforts. Ce poids est une force à vaincre ou à équilibrer, il s'exerce toujours verticalement. Pour changer la direction de cette action il faut se servir de machines à contrepoids, de ressorts et d'oppositions (fig. 1). Le poids du corps reposant sur des appareils fixes ou mobiles, donne naissance à des réactions verticales en sens inverse de la pesanteur, réactions qui se manifestent par des pressions à chaque point d'appui. Dans les mouvements, le changement de vitesse de la masse des membres développe des résistances d'inertie qui donnent naissance à des réactions musculaires fort importantes à considérer.

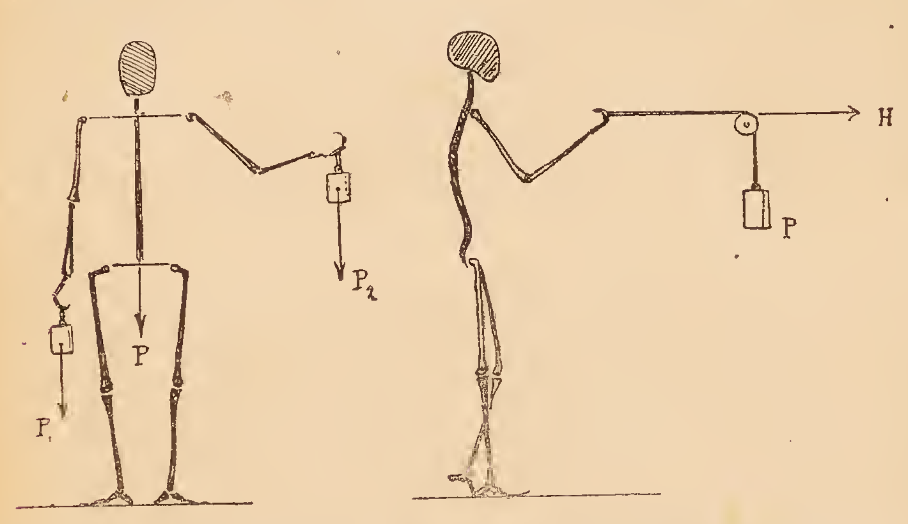


Fig. 1. — Direction des résistances dues à la pesanteur du corps P ou des objets pesants P_1 P_2.

Changement dans la direction de l'action du poids P rattaché à une corde passant sur une poulie.

Notre corps est en outre le siège de mouvements intérieurs produits par la contraction musculaire, la pesanteur, la pression atmosphérique, les forces moléculaires ; nous en avons vu des exemples dans la progression des aliments, les mouvements de l'estomac et de l'intestin, les battements du cœur, la circulation du sang dans les vaisseaux, l'aspiration de l'air dans le poumon, la filtration de l'urine par le rein et la sécrétion des différentes glandes. Tous ces mouvements sont inconscients et sont commandés par des réflexes ou par les centres nerveux spéciaux de la vie organique.

CONTRACTION MUSCULAIRE. — Dans la contraction musculaire, il

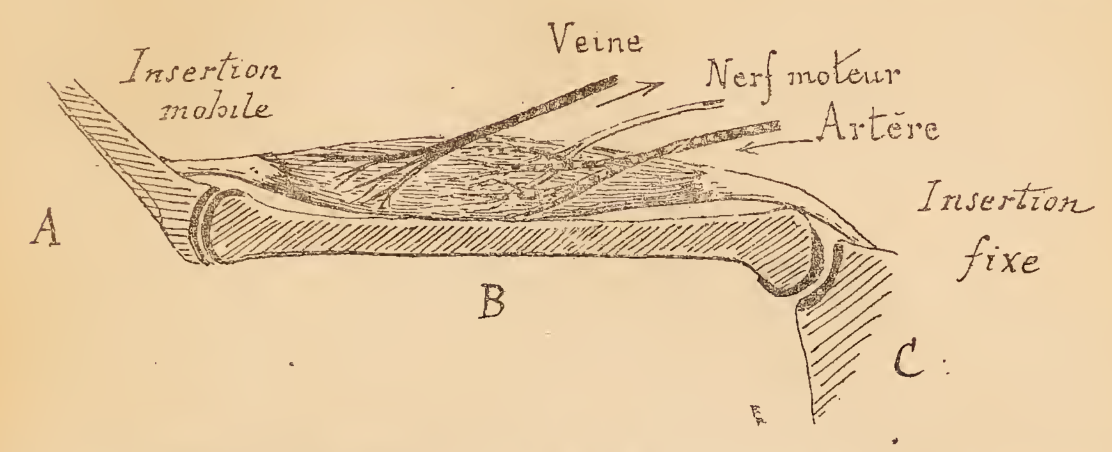


Fig. 2. — Schéma d'un muscle avec ses insertions fixe C et mobile A, l'artère et la veine, et le nerf moteur.

n'intervient, à part l'excitation nerveuse, que des agents connus dans les phénomènes physiques.

Le muscle se contracte sous l'influence de l'excitation des centres nerveux. Il ne répond pas immédiatement à cette excitation, il faut un certain temps pour que le mouvement commence. L'excitation volontaire se propage le long des conducteurs nerveux avec la vitesse très appréciable de 32 mètres environ à la seconde, le muscle lui-même met un certain temps à réagir, son *temps perdu* s'ajoute à la durée de transmission de l'excitation nerveuse jusqu'à la plaque terminale des nerfs moteurs (fig. 3).

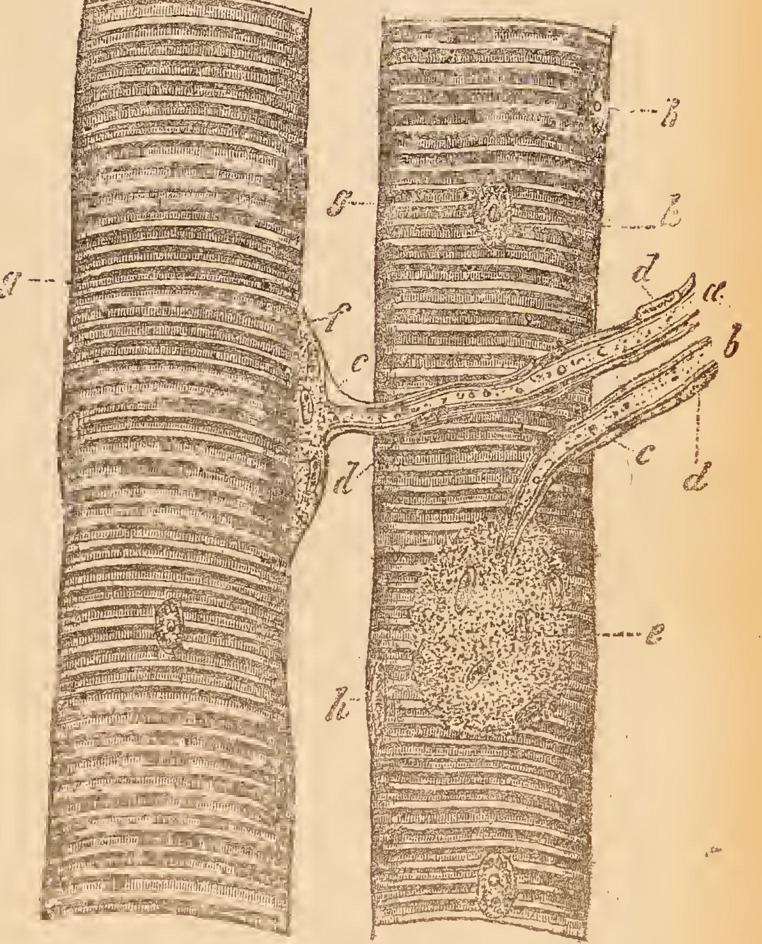


Fig. 3. — Terminaison des nerfs dans les muscles striés (DEBIERRE).

g, myolemme; — *h*, noyau; — *e*, *f*, plaques de Rouget; — *a*, *b*, tubes nerveux.

En ce point il se produit, au moment de l'excitation, une espèce d'explosion dans la fibre musculaire et un changement de forme en résulte; il y a gonflement de la fibre, augmenta-

tion de la section et diminution de la longueur (fig. 4 et 5). Ce gonflement est le point de départ d'une onde se propageant comme une onde liquide le long de la fibre avec une vitesse de 4 mètres par seconde. La fibre musculaire est raccourcie jusqu'au moment où cette onde s'éteint à son extrémité (fig. 4).



Fig. 4. — Aspect que présentent des ondes multiples sur une fibre musculaire (MAREY).

Une excitation simple s'irradiant à toutes les fibres produit la secousse du muscle, c'est-à-dire son raccourcissement brusque suivi du relâchement. Des excitations successives produisent

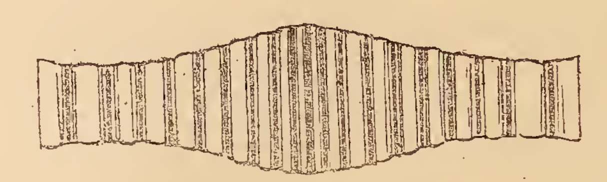


Fig. 5. — Changement de forme d'une fibre musculaire contractée, montrant la condensation des disques opaques.

des secousses successives séparées par des périodes de relâchement (fig. 6).

Des excitations fréquentes plus rapprochées ne permettent pas au muscle de se relâcher complètement; alors le muscle vibre et, si les excitations arrivent environ à la fréquence de 32 à la seconde, il y a fusion des secousses ; le muscle est en contraction statique permanente (fig. 7). Voir la note IV à la fin du vol., p. 530.

C'est ce qui se produit dans la contraction volontaire ; le raccourcissement du muscle cesse avec l'excitation, l'intensité de la contraction dépend de l'intensité de l'excitation nerveuse et en subit toutes les variations. On conçoit ainsi l'influence du froid et de la fatigue, des passions, des dépressions morales et des poisons du système nerveux sur la force musculaire.

Au moyen d'un stéthoscope ou d'un microphone, on perçoit les vibrations internes du muscle. En se bouchant les oreilles et en serrant fortement la mâchoire, on entend un son grave produit par les vibrations des masséters. Le son monte en serrant plus fort parce que les secousses deviennent plus fréquentes

Nous avons vu[1] le muscle se fatiguer par suite d'une insuffisance dans l'apport des matériaux de travail et surtout lorsque les déchets provenant des combustions ne s'éliminent pas et ne sont pas entraînés dans le courant de la circulation. Il faut deux conditions pour le travail du muscle : apport de matériaux et

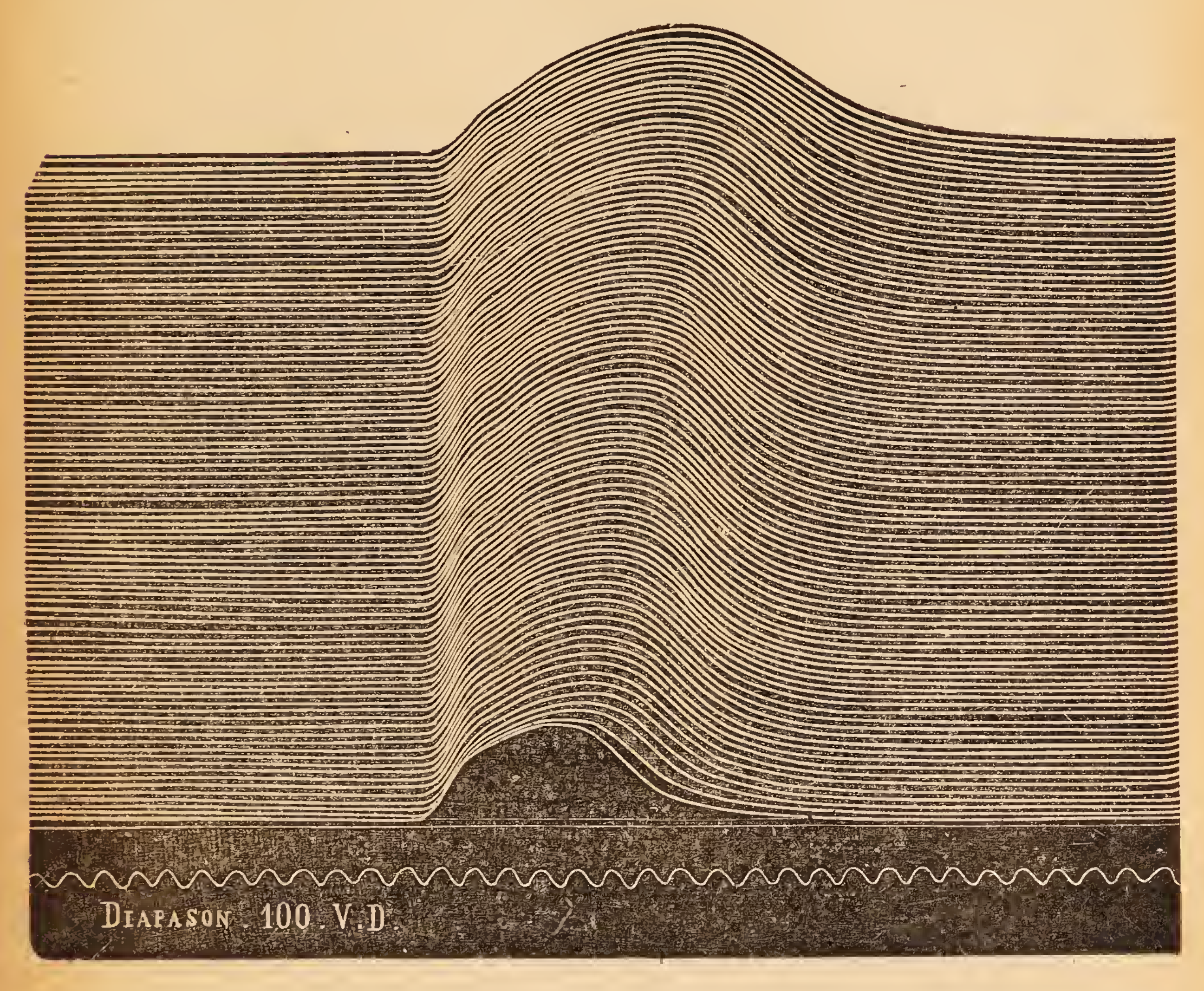


Fig. 6. — Secousses musculaires imbriquées. Les débuts se font sur une même verticale, ce qui permet d'en comparer la durée variant avec la fatigue et donnée par un diapason enregistreur (Marey).

lavage constant pour le débarrasser de ses résidus. Le sang est chargé de cette double fonction. Le froid agit sur le muscle comme une ligature d'artère, par le resserrement des vaisseaux ; l'apport de sang est moins abondant. La contraction prolongée d'un muscle n'est pas possible, des repos courts mais fréquents sont plus favorables à la continuation du travail que de longues haltes suivant de longues périodes de travail (fig. 6).

1. Demeny, *Les bases scientifiques de l'Éducation physique*, 2e édition ; Paris, F. Alcan, 1903.

Nutrition du muscle. — Activité, repos et alimentation sont les trois conditions de la meilleure nutrition du muscle. Nous avons vu les divers modes de contraction : statique ou sans mouvement, dynamique avec allongement ou raccourcissement du muscle. La contraction lente et complète, c'est-à-dire produisant la plus grande amplitude possible du mouvement sans effort trop intense, favorise le mieux la nutrition du tissu musculaire. Le muscle se nourrit alors dans toute sa longueur et non seulement en épaisseur. Il paraît moins saillant parce qu'il n'est pas globuleux, mais il est capable d'autant de travail sous une autre forme ; il est aussi pesant et aussi volumineux, sa forme seule est différente, elle est adaptée au travail habituel.

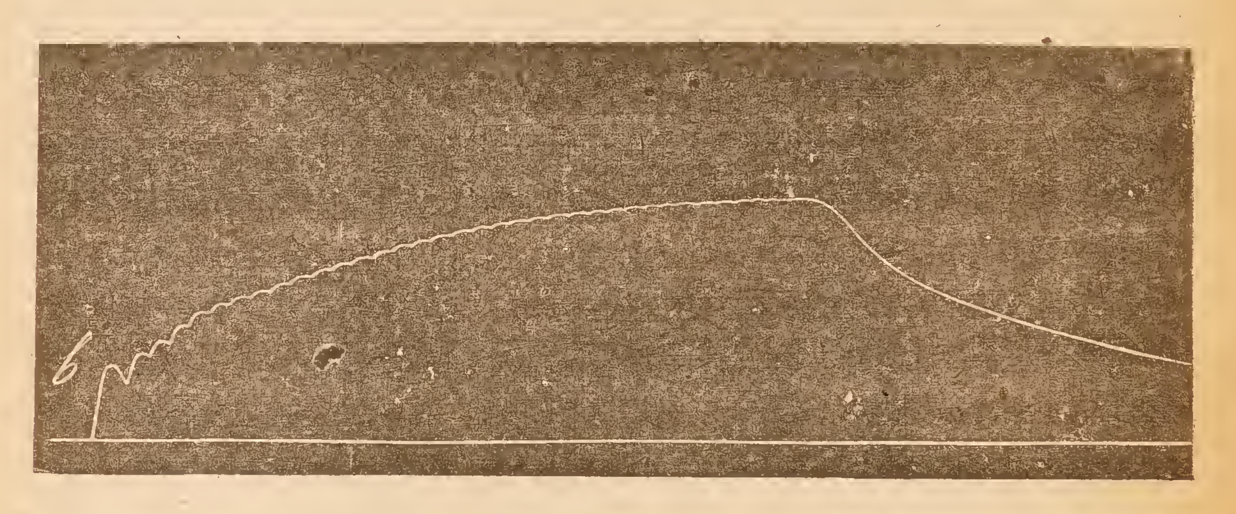


Fig. 7. — Fusion graduelle des secousses musculaires provoquées par des excitations électriques de fréquence croissante (Marey).

Le changement de forme permanent est comparable au changement momentané dû à la contraction. Un muscle qui se contracte se raccourcit, mais son volume ne change pas, parce que sa longueur diminue quand sa section augmente.

Tension du muscle. — Le muscle relâché est mou, contracté il devient dur parce que sa tension élastique s'accroît. Mais il faut pour cela fixer ses points d'insertion, ou bien résister à son raccourcissement.

Si l'on détache l'insertion d'un muscle, il a beau se raccourcir, il ne durcit pas pour cela. Il faut l'étirer en opérant une traction sur le tendon devenu libre pour constater un changement dans sa force élastique et dans sa dureté.

Normalement, le muscle est toujours à un certain degré de

tension, même dans le relâchement, et cette tension ou tonicité se manifeste lorsqu'on coupe un tendon d'insertion ; on voit alors l'extrémité devenue libre être attirée vers l'insertion fixe.

Cette tension modérée des muscles dans le repos est sous la dépendance du système nerveux, elle agit sur la situation relative des os.

Rôle de l'élasticité du tissu musculaire. — Le tissu muscu-

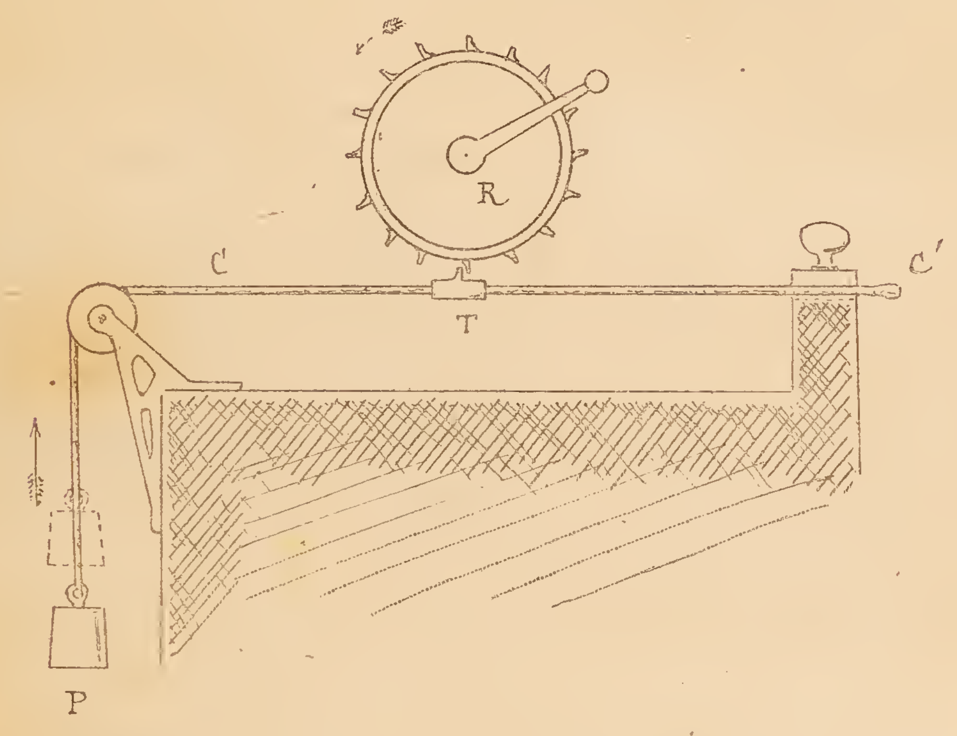


Fig. 8. — Schéma destiné à mettre en évidence la fusion des secousses musculaires et le raccourcissement continu du muscle sous l'action intermittente des ondes fusionnées par l'élasticité du tissu.

Une roue R à rochet communique à une bande de caoutchouc CC' une série de raccourcissements successifs. Lorsque l'intervalle qui sépare les chocs est suffisamment petit, le poids P est soulevé et maintenu à une certaine hauteur.

laire est élastique ; grâce à cette élasticité qui augmente beaucoup pendant la contraction, les vibrations dues aux secousses intermittentes sont facilement fusionnées et l'extrémité du muscle est maintenue raccourcie sans trépidation dès que la fréquence des secousses est suffisante. Dans l'épuisement des centres nerveux consécutif à la fatigue, on voit le muscle trembler, très probablement parce que les secousses ne sont pas assez répétées pour être fusionnées, le relâchement se produisant entre deux contractions successives (fig. 7).

Ce qui se passe alors peut être imité par un faisceau de caoutchouc. Ce faisceau augmente de tension élastique en y

suspendant un poids ; on produit brusquement au moyen d'une roue dentée une série de petits raccourcissements analogues aux secousses musculaires, qui se transmettent au poids et le soulèvent. Lorsque les allongements sont peu fréquents, le poids oscille à chaque attaque d'une dent, mais si l'on imprime à la roue un mouvement assez rapide le poids ne redescend plus, il demeure soulevé à une hauteur constante (fig. 8).

C'est une manière de représenter la fusion des secousses du muscle dans la contraction statique.

SIMPLIFICATION DES ANALYSES DE MOUVEMENTS. — L'étude des mouvements serait particulièrement compliquée et difficile si nous voulions la faire avec la précision mathématique de la mécanique des machines. Nous nous donnerions du reste une peine inutile pour faire une besogne bien vaine.

Nous avons déjà, à propos de la coordination, attiré l'attention sur la complication des synergies musculaires même dans un mouvement en apparence simple comme la flexion de l'avant-bras et nous avons montré que l'on pouvait attribuer à certains groupes de muscles un effet spécial. Il y a des muscles moteurs directeurs, fixateurs des insertions fixes, modérateurs de la vitesse et équilibrateurs. Cet effet peut être détruit dans le chaos des contractions désordonnées, mais il subsiste toujours après s'être débarrassé des raideurs inutiles, il est indispensable à la bonne coordination et au mécanisme même du mouvement [1].

Le résultat final est le mouvement précis, imprimé à la charpente osseuse sous l'influence de la volonté.

Les muscles sont les facteurs du mouvement qui modèlent les os et les surfaces articulaires, suivant les besoins de la vie.

Un muscle quelconque ne peut produire qu'une force intérieure en ligne droite dirigée suivant le dernier élément de son tendon et ayant pour effet de rapprocher ses points d'insertion.

Il faut attribuer aux os le rôle des bielles et des leviers des machines, aux articulations le rôle des pivots et des axes changeant la direction de l'effort musculaire et le transmettant jusqu'au point où il est utilisé (fig. 2).

1. Demeny, *Les bases scientifiques de l'Éducation physique.*

Conformation et structure des muscles. — Les muscles sont composés d'éléments contractiles, mais il est très probable que, dans les mouvements peu énergiques ou peu étendus, toutes les fibres ne sont pas mises en jeu, quelques-unes demeurent inertes, la répartition de l'effort ne se faisant pas également



Fig. 9. — Disposition des fibres musculaires autour du tendon donnant aux muscles des formes différentes.

1, fibres parallèles ; — 2, muscle penné ; — 3, muscle bipenné ; — 4, muscle en fuseau ; — 5, muscle à deux corps (biceps); — 6, muscle polygastrique.

sur chacune d'elles. On expliquerait ainsi l'atrophie partielle d'un muscle ne produisant pas le travail complet dont il est susceptible. La force et le travail produits par un muscle sont évidemment la somme des puissances élémentaires qui le composent, mais il y a dans cette somme beaucoup de déperdition.

Il n'y a d'utilisée que la résultante des efforts partiels suivant le tendon d'insertion. Tous les faisceaux élémentaires sont attelés sur le tendon comme des chevaux à un câble de halage, mais leur direction est loin d'être toujours celle du tendon. La conformation la plus avantageuse est celle des muscles longs à fibres parallèles, comme le couturier; il en est de même des

muscles en forme de fuseaux, comme le demi-membraneux. Deux ou trois fuseaux peuvent se réunir et l'on a ainsi des muscles à deux ou trois insertions supérieures pour une insertion inférieure. Cette disposition se voit dans les biceps et les triceps, elle est à l'avantage de la puissance du muscle (fig. 9).

Le grand droit de l'abdomen, le digastrique sont formés de plusieurs corps charnus placés à la suite les uns des autres et unis par des tendons à la même gaine fibreuse. Ils présentent des renflements coupés d'intersections aponévrotiques. Leur action est la somme des actions partielles de chacun des muscles placés bout à bout. Les muscles ont encore la forme de feuillets larges à fibres presque parallèles s'insérant par une lame tendineuse à la crête d'un os large et agissant à la fois sur toute cette crête. Le rhomboïde est dans ce cas. Les intercostaux, les muscles de l'abdomen, grand oblique, petit oblique et transverse, peuvent être assimilés à une sangle ou à une membrane d'obturation pour les cavités thoracique et abdominale.

Dans les cas précédents, l'utilisation des contractions des fibres est satisfaisante, l'effort du muscle est sensiblement la somme de ses puissances élémentaires. Il n'en est plus de même dans la conformation radiée et pennée.

La première se rencontre dans le diaphragme, où les fibres convergent vers un point central. Mais ce muscle en se raccourcissant a pour effet de diminuer sa courbure, d'abaisser sa voûte pour agrandir le volume du thorax pendant l'inspiration.

Le seconde est très fréquente, l'obliquité des fibres s'implantant à droite et à gauche du tendon commun est une disposition très défavorable à l'utilisation des efforts élémentaires, vu qu'ils se neutralisent en partie.

Dans un muscle penné où les fibres s'insèrent obliquement d'un seul côté du tendon, cette neutralisation n'existe pas, mais l'utilisation de l'effort n'est pas meilleure.

Le deltoïde présente la forme en éventail. Plusieurs faisceaux s'irradient dans tous sens autour d'un tendon commun. ceci n'est pas plus avantageux ; mais l'on sait que les contractions de ces faisceaux du deltoïde ne sont pas simultanées, suivant les mouvements des bras la contraction se propage dans l'un ou l'autre des faisceaux utiles; il y a là en réalité plusieurs muscles ayant leur innervation indépendante (fig. 10).

Les sphincters de l'anus et de la bouche présentent la forme annulaire. Ils se rétrécissent ou se dilatent en se contractant ou en se relâchant ; comme les muscles des vaisseaux capillaires,



Fig. 10. — Forme des muscles en éventail, radiés et sphincters.

ils changent le calibre de l'ouverture des conduits ou des cavités.

Résultante de l'action des éléments d'un muscle. Communication du mouvement des muscles aux os. — Ainsi la résultante de l'action d'un muscle n'est jamais la somme arithmétique des actions de ses fibres. Il y a presque toujours déperdition due à l'obliquité de leur direction.

La résultante est néanmoins dirigée suivant le tendon et appliquée à l'insertion osseuse. La plupart des muscles moteurs des membres sont longs et accolés parallèlement aux os.

Si le muscle a des insertions sur deux segments contigus, ces deux segments étant dans le prolongement l'un de l'autre, on conçoit difficilement au premier abord comment le mouvement peut s'effectuer ; dans tous les cas il y a là une condition bien défavorable à l'action du muscle.

Les os ne sont pas des colonnes cylindriques, leurs extrémités sont renflées, le tendon se réfléchit sur ces éminences comme sur une poulie et le dernier élément du tendon est oblique à la direction de l'os à mouvoir (fig. 11). Cette direction dernière est la direction réelle de l'effort musculaire au début du mouvement. Cet effort peut être décomposé en deux composantes rectangulaires : une action dirigée suivant la lon-

gueur de l'os, annulée par la résistance de l'articulation et une autre perpendiculaire à l'axe de l'os à mouvoir et utilisée pour le mouvement.

Si V est l'angle de la tangente au tendon au point d'insertion avec l'os, F l'effort total du muscle ; les deux composantes ont pour valeur respective F sin V et F cos V.

L'angle V est sensiblement le supplément de l'angle des deux os. On voit ainsi la variation de l'effort utile du muscle avec la position relative des os.

Nous savons, par expérience, combien est pénible au début

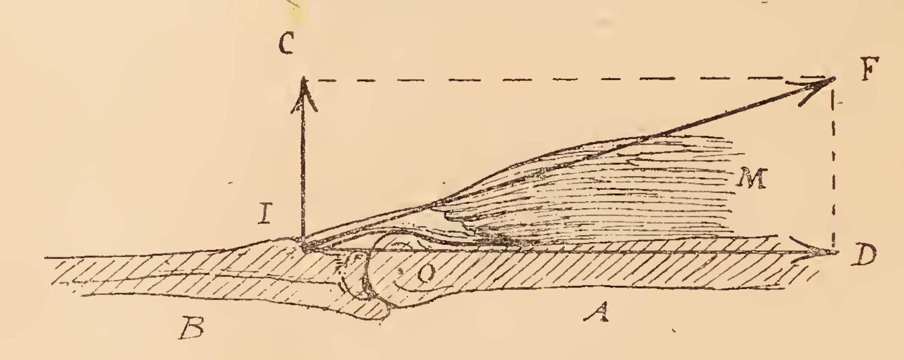


Fig. 11. — Action du muscle M s'exerçant suivant le dernier élément de son tendon dans la direction I F oblique à la direction des os et se décomposant en deux forces I C et I D.

la flexion de l'avant-bras, celui-ci était maintenu en extension par un poids dans la main. C'est dans la position sensiblement rectangulaire du bras et de l'avant-bras que l'effort développé par nos fléchisseurs est totalement utilisé.

Le force effective d'un muscle varie donc à chaque instant suivant l'obliquité de son action sur les os, cela change constamment avec nos attitudes et nos mouvements.

Résistances a vaincre. — Pour comprendre l'utilisation de notre force musculaire, il faut encore examiner comment la résistance à vaincre et nos efforts s'équilibrent sur le squelette. En général, les résistances à vaincre sont appliquées aux extrémités des membres, nous saisissons les objets avec les mains, nous mouvons notre corps avec les pieds, tandis que notre force musculaire s'exerce près des articulations. S'il en était autrement, on verrait les tendons saillir sous la peau à chaque flexion des articles. Nous utilisons nos efforts d'une façon défavorable puisque la résistance à vaincre s'exerce à l'extrémité du bras de levier le plus long.

Valeur relative de l'effort et de la résistance. — On trouve ainsi dans le corps des leviers du 1er et du 3e genre aux bras, aux jambes, à la tête, au tronc; l'effort musculaire est toujours à la résistance dans le rapport inverse des bras de levier. Ce sont des notions de mécanique élémentaire. Bien entendu cette proportion n'est vraie que pour les composantes normales à l'os à mouvoir, il faut tenir compte de l'obliquité dans la direction du tendon et de la résistance à vaincre (fig. 12).

La valeur de l'effort musculaire est liée à la résistance à vaincre par la relation suivante (voyez p. 83).

Nous n'insistons pas sur ces choses trop connues, seulement nous nous permettrons de relever une erreur.

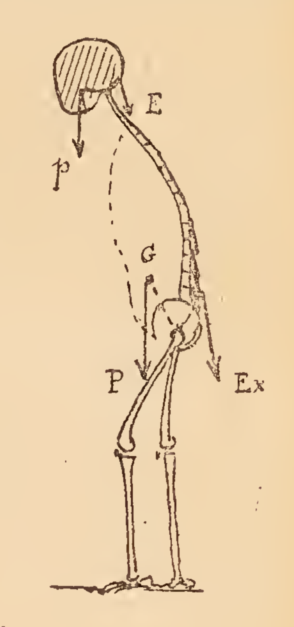


Fig. 12.
Poids des différents segments, tête et tronc, *p* et P, équilibrés par l'action des muscles extenseurs E et *Ex* dans la station droite.

Erreur au sujet du levier du 2e genre. — On donne, dans presque tous les traités de physiologie comme exemple de levier du 2e genre, c'est-à-dire favorable à l'action musculaire, le rôle du pied dans la station sur la pointe des pieds. Le centre de mouvement est, dit-on, dans l'articulation des orteils, la puissance est l'action des muscles du mollet et la résistance le poids du corps à soulever se transmettant par le tibia à l'articulation de la cheville. On en conclut que le mollet développe un effort inférieur au poids du corps à soulever.

Cela serait exact si le mollet avait une insertion supérieure fixe en dehors du squelette, si, par exemple, nous tirions sur le calcanéum au moyen d'un cordon passant sur une poulie attachée au mur (fig. 13, 2).

Mais, jamais cela ne peut avoir lieu. Le mollet s'insère en haut aux os de la jambe et de la cuisse, quand il se contracte, il tire autant sur ces derniers que sur le talon. Son effort est une force intérieure dont l'effet réel fixe le pied en extension et rend solide le système jambe et pied sous un angle obtus.

L'équilibre du corps sur la pointe des pieds ne peut avoir lieu que si le centre de gravité du corps se trouve verticalement

placé au-dessus de la base de sustentation représentée ici par les orteils (fig. 13, 3). Ceux-ci exercent une pression sur le sol égale au poids du corps et cette pression tend à fléchir le pied. On pourrait remplacer la réaction du sol par un effort de flexion R égal et opposé au poids du corps P. Le pied est alors en équilibre autour de l'articulation de la cheville sous l'action F du

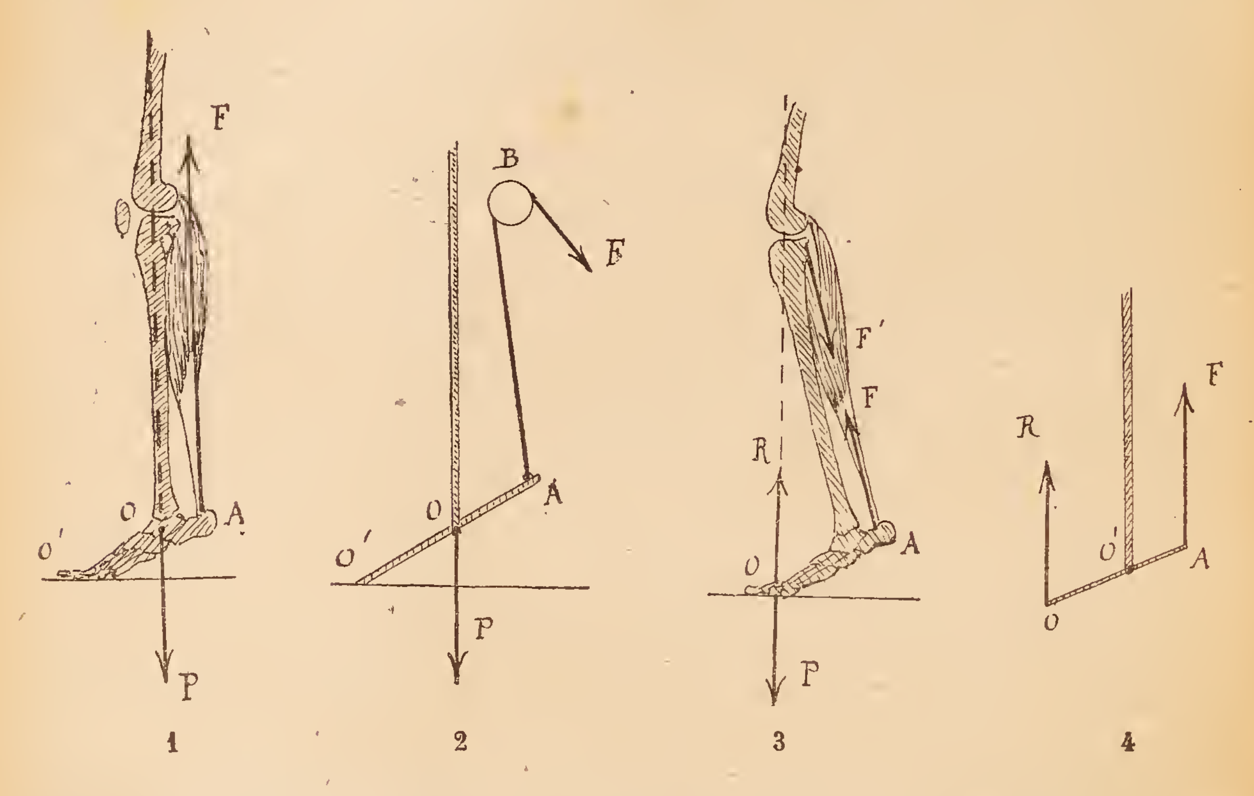


Fig. 13. — Erreur commise en assimilant le pied à un levier du 2e genre dans la station sur la pointe des pieds.

1. L'équilibre ne peut exister dans cette position, à moins que le poids du corps passe par la base de sustentation O (3) où que le mollet ait une attache extérieure (2). — 4. Equilibre du pied autour de la cheville O' sous l'action du mollet F et du poids du corps; R, réaction du sol.

mollet et de la réaction du sol égale au poids du corps. C'est le cas d'un levier du 1er genre tout au désavantage de l'effort musculaire, puisque celui-ci s'exerce à l'extrémité d'un bras de levier, le talon, bien plus court que le pied (fig. 13,4).

Nous rencontrerons souvent, dans le courant de nos analyses, des cas semblables, il faut se garder de faire erreur, et de tomber dans l'absurde en posant mal le problème.

Imaginons une planche *o*A (fig. 14, 1) représentant le pied, un montant *o*B représentant la jambe, un cordon attaché en A comme le tendon d'Achille au calcanéum et passant sur une poulie en B. Un homme est assis sur cette planchette et tire sur le cordon. Sa force s'exerce de A en B comme l'effort du mollet,

le point O étant articulé, nous sommes dans le cas du pied considéré comme levier du 2e genre.

Mais il suffit d'un peu d'attention pour comprendre que le sujet aura beau tirer sur le cordon, il ne pourra se soulever d'une façon permanente ; en admettant qu'il le fasse par un effort brusque, il ne pourra se maintenir dans cette position, le poids du corps le fera toujours retomber contre terre.

Cela reviendrait à soulever une brouette sur laquelle on

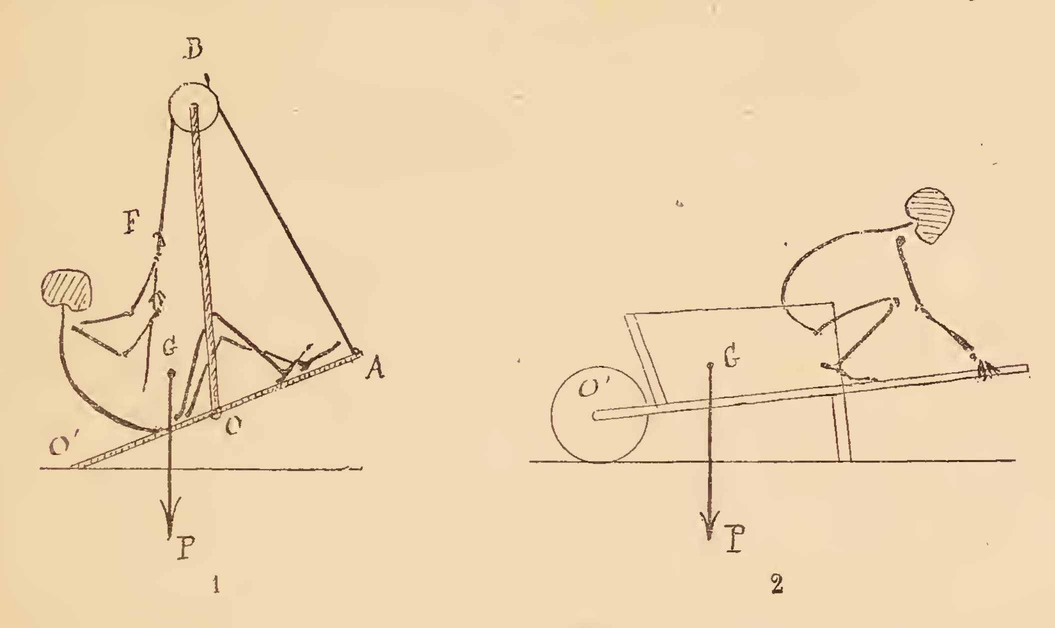


Fig. 14. — Conséquences absurdes du paradoxe précédent qui conduit a la possibilité de se soulever de terre sans point d'appui extérieur.

1, Homme tirant sur un cordon F et soulevant de terre le système O A B contre son poids P; — 2, Homme se soulevant en tirant sur les brancards d'une brouette.

serait placé ou encore à se soulever de terre en tirant avec les bras sur la chaise où l'on est assis, à se soulever en se tirant par les cheveux, etc. (fig. 14, 2).

Les leviers osseux sont défavorables a la puissance, mais favorables a la vitesse des mouvements. — Les leviers du 1er et 3e genres que nous rencontrons dans l'économie sont tous défavorables à l'effort musculaire, mais par contre, ils sont favorables à la vitesse des mouvements. Dans la flexion de l'avant-bras la main chargée d'un poids, l'effort F des fléchisseurs est égal à $R \times \frac{oB}{ob}$ et ce rapport est égal à 4 environ. Pour tenir l'avant-bras horizontal la main chargée d'un poids de 10 kilogrammes, il faut développer un effort de 40 kilogrammes. Mais dans le mouvement, les chemins parcourus par les points d'ap-

plication de la résistance et de la puissance sont proportionnels aux bras de levier respectifs, c'est-à-dire inversement proportionnels à l'intensité des forces. Ainsi, dans l'exemple précédent, pendant que le biceps se raccourcira d'un centimètre, le mouvement d'élévation de la main sera de 4 centimètres (fig. 15).

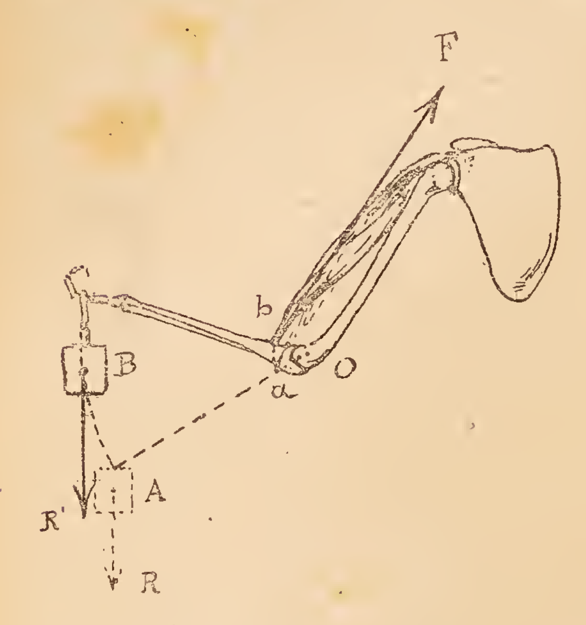


Fig. 15. — **Action F d'un** muscle moteur d'un segment osseux *b* B; O *b*, bras de levier de la puissance ; O B, bras de levier de la résistance.

Nous verrons le travail moteur rester toujours égal au travail résistant, ce que l'on gagne en force, on le perd en vitesse.

Force relative de l'homme. — Ces considérations nous donnent sur la force de l'homme des notions plus nettes, elles montrent que si les insertions des muscles sont à la même distance des centres articulaires, et cela arrive généralement, des individus à leviers courts pourront à égalité de muscles produire des efforts plus intenses. On voit des petits hommes trapus l'emporter sur de plus grands pour la facilité avec laquelle ils manient des poids lourds, c'est affaire de structure.

Les plus grands, à segments plus longs, leur sont très inférieurs, à moins d'avoir un développement musculaire et les bras de levier de leurs muscles en proportion de leur taille.

Subterfuges des athlètes. — Ce cas se rencontre très rarement. Les athlètes utilisent divers subterfuges pour paraître plus forts qu'ils ne sont en réalité. Ils porteront par exemple un poids à bras tendu en le faisant reposer sur l'avant-bras diminuant ainsi la longueur du bras de levier de la résistance (fig. 16) ils n'étendront pas l'avant-bras mais le laisseront légèrement fléchi afin de soulager par les muscles fléchisseurs l'articulation du coude.

La force n'est pas l'excitation mais la constance dans l'effort.

— La force du muscle dépend de sa section, mais aussi de l'excitation nerveuse qu'il reçoit; elle se mesure au dynamomètre. L'intérêt est de présenter dans sa force de la constance et de la régularité. La force doit se distinguer de l'excitation et l'on ne peut considérer comme fort l'individu capable de grands efforts momentanés puis tombant ensuite au-dessous

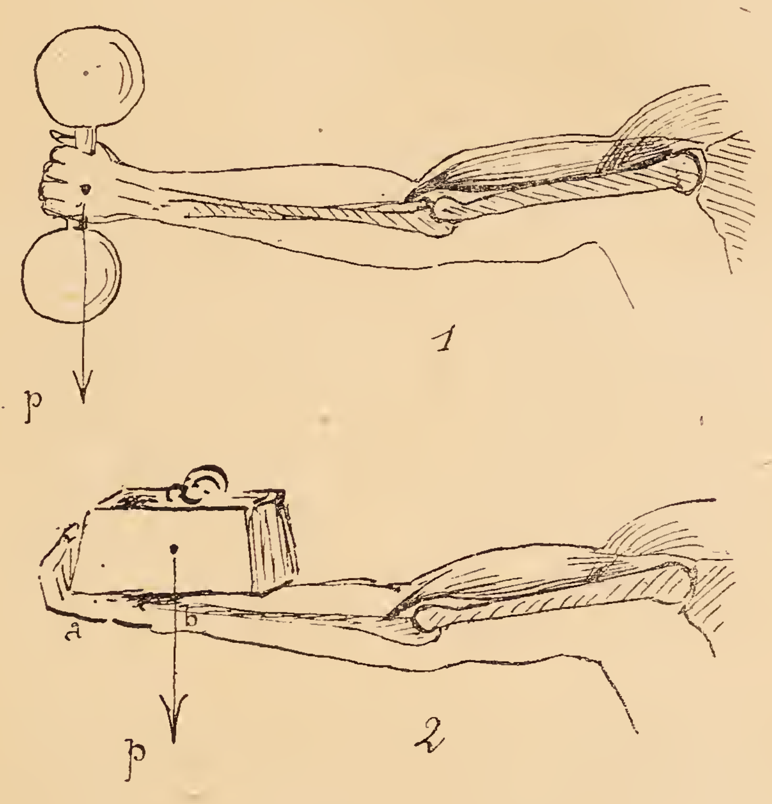


Fig. 16. — Procédés employés par les bateleurs pour donner l'apparence d'une force considérable.

Le même poids porté dans la main (1) ou porté en partie sur l'avant-bras (2) ne demande plus le même effort musculaire, vu la diminution du bras de levier de la quantité *ab*.

de la moyenne; l'alcool, la colère décuplent les forces un instant mais ne les augmentent pas en réalité. La femme présente des inégalités comme l'enfant et, chez tous, il y a des variations dans la force musculaire, correspondant à certaines heures de la journée. L'épuisement nerveux, l'insomnie, le jeûne, l'inanition, les troubles de nutrition en général ont une influence déprimante sur la force musculaire; la vie régulière, l'exercice quotidien modéré, l'abstinence des excitants, la sobriété et une bonne hygiène générale sont les seuls moyens de l'augmenter.

Fixation, solidité des attaches des muscles pour le maximum d'effort. — Pour qu'un muscle puisse donner et utiliser son

maximum d'effort il doit avoir une de ses insertions fixée solidement. Cela demande le concours d'autres muscles. Pour faire un effort musculaire intense et le diriger convenablement, il est nécessaire de prendre et de conserver une attitude spéciale, caractéristique de l'effort, attitude où les points fixes des muscles sont justement maintenus solidement par toute une chaîne continue de contractions.

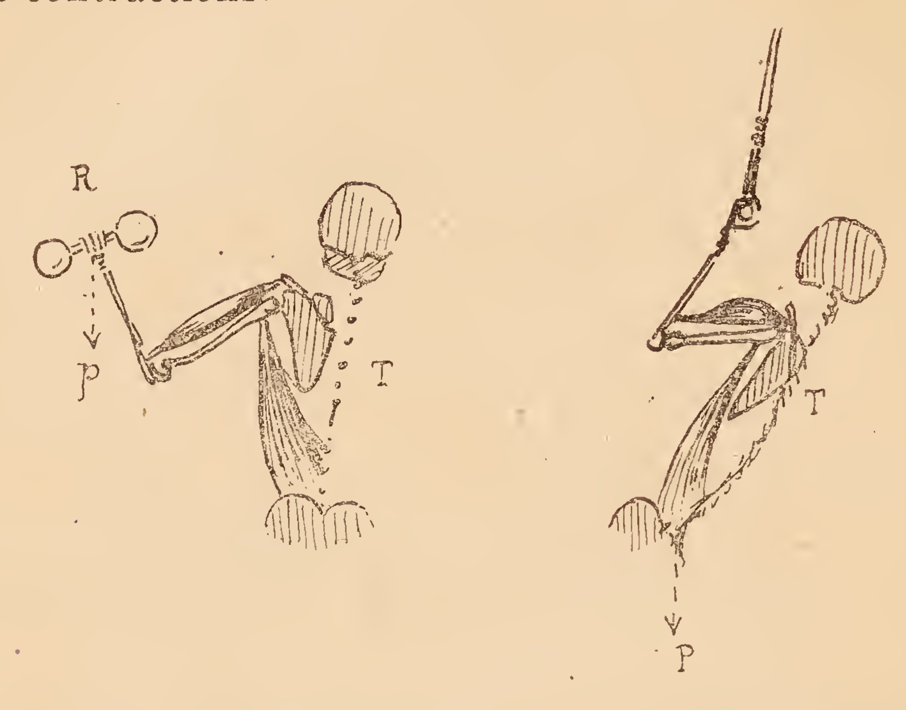


Fig. 17. — Interversion des points fixes des muscles fléchisseurs de l'avant-bras et abaisseurs du bras quand on meut le bras chargé d'un poids P sur le tronc T, ou quand, suspendu par les mains, on meut le poids du corps sur les bras.

Interversion des points fixes. — L'insertion fixe d'un muscle peut changer suivant l'effort. En station droite par exemple, les muscles moteurs de la cuisse prennent leur insertion fixe sur le bassin. Au contraire, si l'on meut le tronc sur la cuisse en immobilisant les membres inférieurs, les mêmes muscles ont alors leurs insertions fixes sur la cuisse. Dans le grimper avec les mains à une corde, le tronc est attiré vers le bras et le bras vers l'avant-bras. Les points fixes des muscles moteurs sont à l'avant-bras et aux bras au lieu d'être, comme dans la station droite les insertions mobiles des muscles abaisseurs du bras et fléchisseurs de l'avant-bras (fig. 17).

Conséquences de cette interversion. — Nous voyons de suite la conséquence de cette interversion des points fixes : les mêmes muscles moteurs du bras deviennent moteurs du tronc, ils sup-

portent un effort peut-être dix fois plus intense. On remédie à leur impuissance par l'augmentation de l'excitation nerveuse. Mais il serait bien faux de juger la force d'un homme à la facilité de se hisser à la force des bras, si l'on ne tient pas compte du poids de son corps.

Nous avons déjà tiré parti de l'interversion des points fixes en fixant l'épaule et en permettant ainsi à des muscles qui s'y attachent, de soulever les côtes et d'agrandir les diamètres du thorax[1].

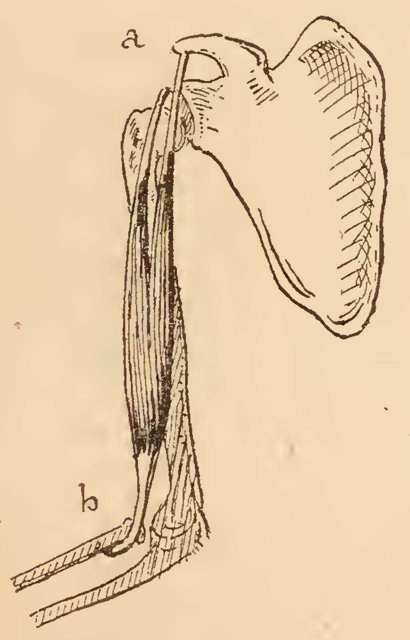


Fig. 18. — Biceps brachial avec ses deux insertions supérieures *a* et son insertion *b* au radius.



Fig. 19. — Insertion *a* du triceps brachial à l'omoplate, qui complique l'effet de ce muscle sur le mouvement du bras.

Influence de l'insertion lointaine des muscles franchissant une articulation. — Tous les muscles ne prennent pas leurs points d'insertion fixe sur l'os contigu à celui qu'ils sont chargés de mouvoir. Beaucoup franchissent une ou plusieurs articulations et ont ainsi des effets plus complexes.

Le biceps brachial s'attache par ses deux insertions supérieures à l'omoplate, il est enroulé autour du radius à son insertion inférieure (fig. 18).

Si l'avant-bras est fixé il tend à produire, en se contractant, la rotation de l'avant-bras en supination, la flexion du bras sur l'avant-bras et l'élévation du bras.

1. Demeny, *Les bases scientifiques de l'Éducation physique.*

Le triceps brachial, vu ses insertions supérieures, peut étendre le bras sur l'avant-bras et agir sur l'omoplate en arrière (fig. 19).

Nous pouvons citer encore le couturier, le psoas, les demi-membraneux, demi-tendineux, droit interne de la cuisse, la longue portion du triceps fémoral, le biceps fémoral, les jumeaux, les muscles moteurs des orteils et des doigts.

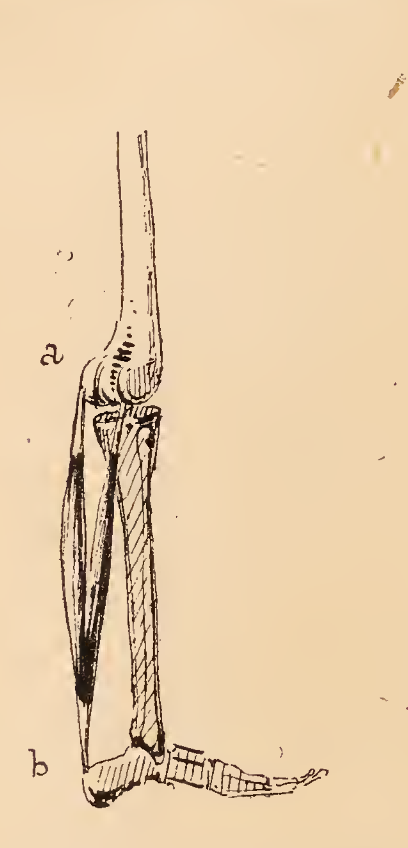


Fig. 20.— Effet complexe des muscles du mollet à cause de leur insertion au fémur en *a* et au calcanéum en *b*.



Fig. 21. — Muscles qui relient le bassin à la cuisse et le bassin au tibia.

Ps, psoas; — C, couturier; — A, insertions au bassin; — B, au tibia.

Tous ces muscles ont des insertions sur des os non contigus, leur action est très complexe (fig. 20 et 21). Dans les efforts intenses l'effet le plus clair est de servir de ligaments actifs en serrant les surfaces articulaires l'une contre l'autre afin d'empêcher leur séparation.

Nature des mouvements articulaires. — Les surfaces articulaires déterminent déjà par elles-mêmes la nature des mouvements des os en contact.

Il est des articulations susceptibles des mouvements les plus restreints comme des mouvements les plus étendus, les plus vagues comme les mieux définis.

Le scapulum n'a que de simples glissements sur le tronc; deux vertèbres ne prennent l'une sur l'autre que des inclinaisons fort restreintes.

L'articulation du coude permet une rotation autour d'un axe dans un plan unique. Les articulations des phalanges, celle de l'atlas avec l'occipital, du fémur avec le tibia sont semblables sous ce rapport. Au poignet la mortaise radio-cubitale, l'articulation du premier métacarpien avec le trapèze limitent les mouvements de circumduction dans deux plans rectangulaires.

Les têtes de l'humérus et du fémur sont sphériques, les mouvements correspondants du bras et de la cuisse sont des mouvements coniques; la main et le genou peuvent décrire des circonférences autour de l'épaule et du bassin.

Le radius se meut autour du cubitus, l'atlas autour de l axis, le tronc autour de la ligne des têtes fémorales, comme autour d'un axe ou d'un pivot. Seul, le mouvement de rotation complet, comprenant un cercle entier ne se rencontre pas dans les articulations ; il faudrait pour cela une discontinuité dans les tissus, la nutrition ne le permet pas.

Sauf les glissements confus de l'omoplate ou les déplacements des os du tarse et du carpe, les mouvements des pièces articulées du squelette sont réductibles à ceux des leviers simples ou du treuil.

Les centres ou axes de rotation sont des lignes théoriques existant quelquefois en dehors des articulations, mais faciles à retrouver.

La connaissance simple de l'équilibre du levier suffit pour comprendre les conditions de stabilité des os les uns sur les autres dans les différentes attitudes du corps.

§ 2. — Description du squelette au point de vue mécanique

Il n'est pas inutile de rappeler le rôle mécanique des os et de décrire le squelette à ce point de vue en laissant de côté les détails intéressant le chirurgien. Il faut savoir où se passent les mouvements si l'on veut les comprendre et les associer dans un but éducatif. Au point de vue mécanique, le squelette se compose d'une colonne servant d'axe, et surmontée d'un renfle-

ment, la tête. Cette colonne



Fig. 23. — Représentation schématique du squelette humain au point de vue mécanique.

A, axe vertébral; — T, tête; — C et C', ceintures de l'épaule et du bassin donnant attache aux membres supérieurs M,M' et aux membres inférieurs N,N'.

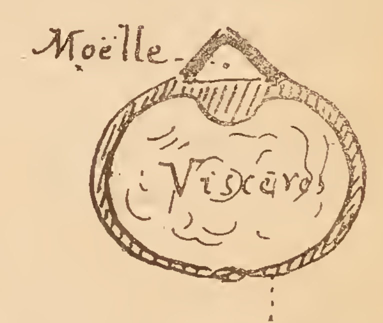


Fig. 24. — Coupe théorique du tronc pour montrer les deux anneaux contenant les viscères en avant et les centres nerveux en arrière.

est composée d'éléments superposés, les vertèbres, et

Fig. 22. — Squelette de l'homme (Debierre).

a, os pariétal; — *b*, frontal; — *c*, vertèbres cervicales; — *d*, sternum; — *e*, vertèbres lombaires; — *t*, humérus; — *f*, cubitus; — *g*, radius; — *h*, carpe; — *i*, métacarpe; — *k*, phalanges; — *r*, fémur; — *q*, rotule; — *l*, tibia; — *m*, péroné; — *n*, tarse; — *o*, métatarse; — *p*, phalanges des orteils; — *u*, clavicule; — *s*, os iliaque.

chaque vertèbre donne naissance à deux arcs adossés l'un à l'autre. Ces arcs superposés forment en avant la cavité viscérale, en arrière la cavité médullaire contenant les centres nerveux (fig. 22, 23 et 24).

Voilà pour le tronc. Deux ceintures, l'épaule et le bassin servent d'attaches aux membres. La ceinture supérieure est mobile ; elle permet à la main d'être orientée de toutes façons et de toucher toutes les parties du corps. La ceinture inférieure est au contraire solide, en rapport avec sa fonction de porter le poids du corps. On peut trouver dans le membre inférieur les segments analogues au membre supérieur, mais accommodés à la station bipède. Les os et leviers sont creux, légers et résistants, reliés par des ligaments solides.

A égalité de matière la forme en tube présente plus de résistance à la flexion que la colonne pleine ; une feuille de papier roulé devient un tube rigide, la nature a réalisé ce moyen avant les ingénieurs modernes. Le fétu de paille si léger résiste cependant aux tempêtes.

Mouvements des pièces du squelette.

Les surfaces articulaires sont recouvertes de cartilage lisse et poli, la synovie les tient constamment humectés, aucune machine ne peut être mieux disposée pour atténuer les frottements.

Colonne vertébrale et tête. — La colonne vertébrale est l'axe essentiel du squelette. Les corps des vertèbres ont un volume croissant de la tête à la région lombaire. La forme est pyramidale; les éléments inférieurs, ceux qui ont la pression la plus forte à supporter présentent aussi la plus large surface à l'écrasement. Les courbures vertébrales sont contenues dans le plan antéro-postérieur. Ces courbures sont caractéristiques de la station bipède; elles ont pour effet de rejeter les organes thoraciques en arrière, d'amener le centre de gravité du tronc au-dessus de sa base de sustentation et de réduire ainsi la fonction des muscles chargés de maintenir le tronc en équilibre autour de la ligne des têtes fémorales (fig. 25 et 26).

Les éléments vertébraux permettent une mobilité variable aux différentes régions. Au cou, la mobilité de la tête tient à

une disposition spéciale. L'articulation de l'atlas avec l'axis permet la rotation de l'atlas, entraînant la tête, autour de l'apophyse odontoïde comme pivot (fig. 36). La délicatesse de cette articulation lui enlève sa solidité. Faire une chute sur la région cervicale, soulever un enfant par la tête peuvent avoir les plus graves conséquences, la luxation de l'atlas entraînant toujours une lésion de la moelle; la mort ne survient pas autrement dans la pendaison.

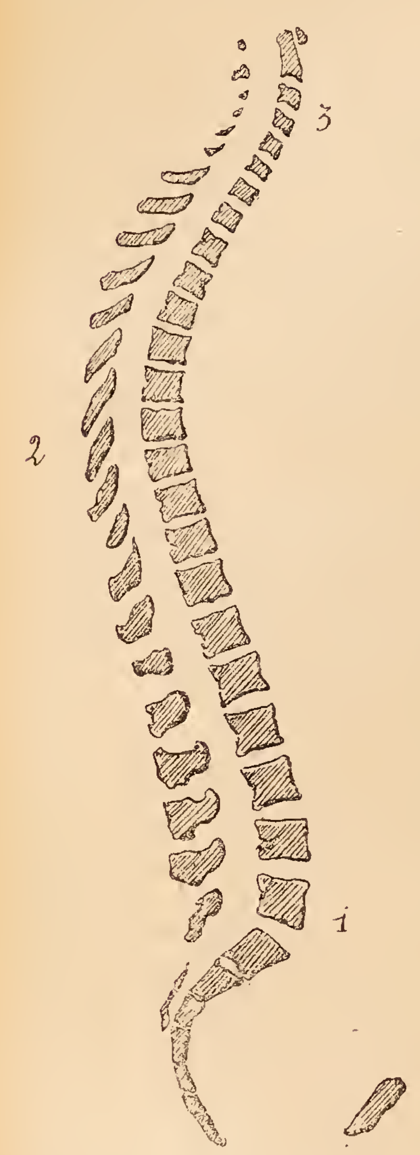


Fig. 25. — Coupe de la colonne vertébrale avec ses courbures normales.
1, lombaire ; — 2, dorsale ; — 3, cervicale.

A la région dorsale la mobilité, entravée par la présence des côtes et la solidité du thorax est presque nulle. Le mouvement le plus étendu se retrouve à la région lombaire, surtout entre la 5[e] lombaire et la 1[re] vertèbre sacrée grâce à l'épaisseur des disques intervertébraux.

On peut dans la station droite faire tourner la tête de 180° et regarder derrière soi, mais sur les 180°, 73° se passent dans les articulations du tarse du genou et de la hanche, 79° dans la région cervicale 28° seulement dans la région dorsale et la région lombaire. La mobilité de la région cervicale tient à la disposition des apophyses articulaires des vertèbres et à la rotation de l'atlas autour de l'axis.

Les apophyses épineuses ont un développement proportionné à la force de traction des muscles extenseurs; leur direction est celle de cette traction constante; presque horizontales à la région cervicale et lombaire, elles sont très obliques à la région dorsale (fig. 25).

Il ne faut pas confondre la ligne formée par les extrémités des apophyses épineuses avec la forme de la colonne vertébrale. La première peut être courbe et faire croire sans raison à une déviation latérale des corps vertébraux.

Les apophyses articulaires indiquent parfaitement le sens de la mobilité des vertèbres. Les surfaces de frottement ont leur plan presque horizontal à la région cervicale ; à la région dorsale ce plan est de plus en plus incliné en bas et en arrière,

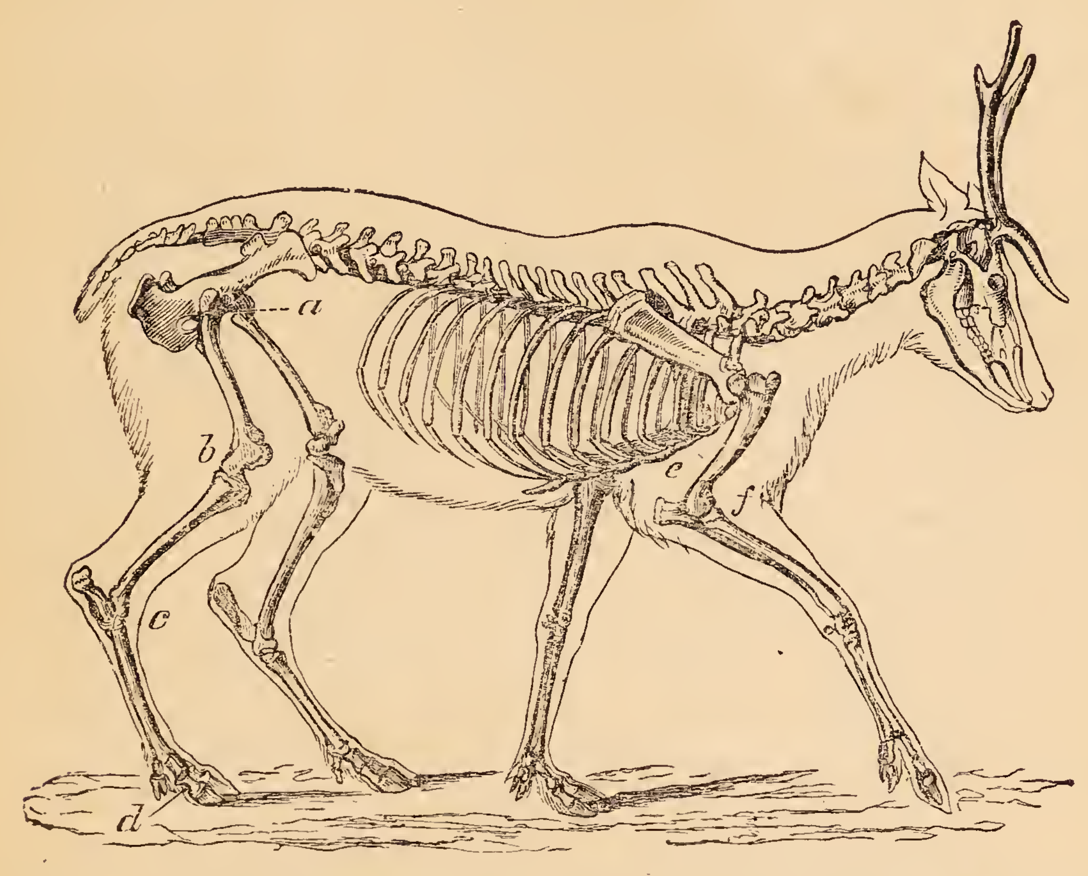


Fig. 26. — Squelette de quadrupède montrant la direction des apophyses épineuses du rachis et l'absence de courbure lombaire.

mais perpendiculaire au plan médian ; à la région lombaire, il tourne de 90° pour devenir vertical et parallèle au plan médian. Ces dispositions intéressent au plus haut point la connaissance exacte des mouvements du corps.

Les vertèbres sont séparées (fig. 37) par les disques intervertébraux qui permettent une mobilité suffisante aux nécessités de la locomotion.

Dans une chute sur les pieds, le choc se propage par le bassin, puis au sacrum qui a la forme d'un coin, il se transmet de là aux éléments élastiques précédents où il s'épuise et arrive tout à fait atténué au cerveau.

La colonne vertébrale réalise l'union de la solidité et de la mobilité. La moelle y est admirablement protégée, à l'abri de toute lésion et, dans les mouvements les plus étendus n'y est jamais comprimée. Le liquide céphalo-rachidien joue un rôle

fort intéressant pour équilibrer la pression intérieure dans le canal médullaire.

La tête, simple renflement de la colonne vertébrale a pour qualité première la solidité en rapport avec l'importance des

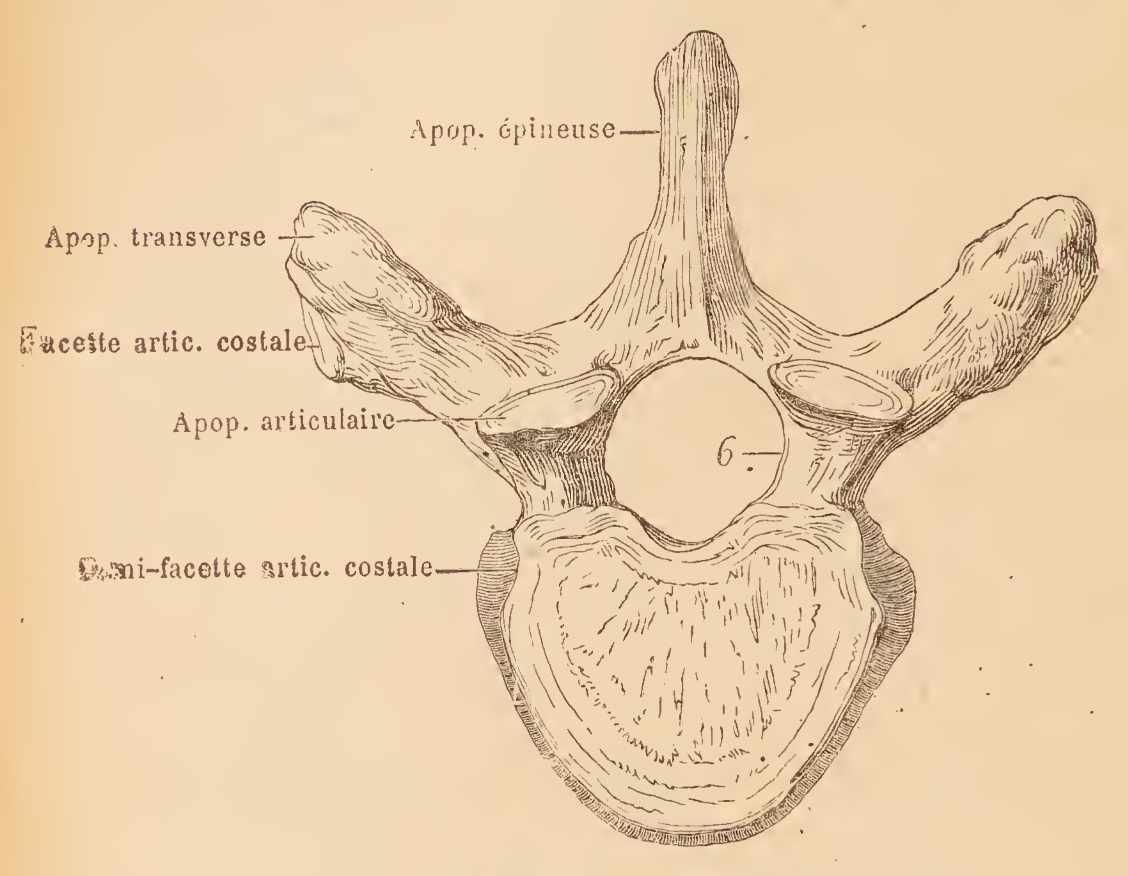


Fig. 27. — Vertèbre dorsale (Debierre).
6, trou vertébral.

centres nerveux qu'elle renferme; les organes des sens, l'œil et l'oreille exigent la grande mobilité de ses articulations pour être dirigés dans tous les sens et recevoir les impressions extérieures.

Thorax. — Le thorax est remarquable par sa solidité et sa mobilité. Les côtes sont articulées en arrière avec la colonne vertébrale et en avant avec le sternum par l'intermédiaire de cartilages élastiques. Le thorax doit sa résistance à cette élasticité; il remplit le double rôle mécanique de protection des viscères thoraciques et abdominaux et d'organe moteur. Par ses mouvements alternatifs de dilatation et de resserrement, analogues au jeu d'un soufflet, il aspire et chasse tour à tour le sang et l'air des poumons (fig. 28 et 29).

Les deux ceintures, épaule et bassin, rattachant les membres

au tronc, diffèrent beaucoup par leur mobilité et leurs fonctions.

Épaule et bassin. — L'épaule n'est fixée au thorax que par

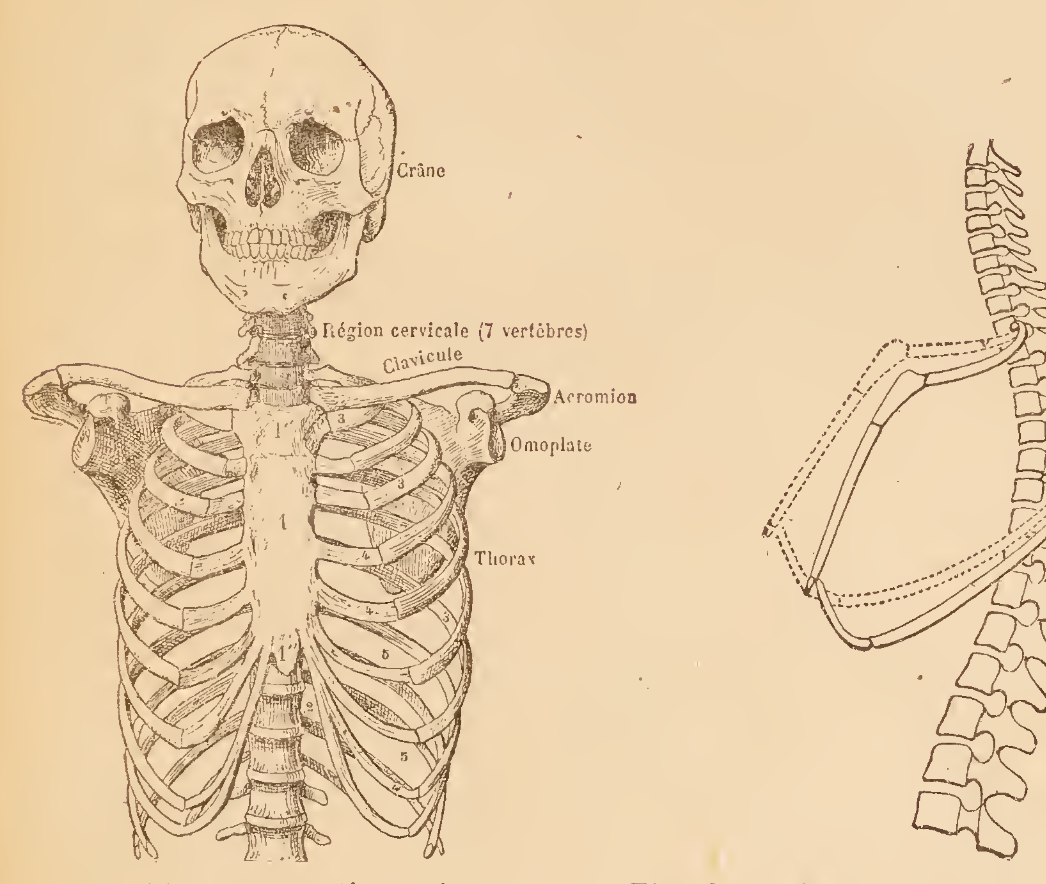


Fig. 28. — Cage thoracique (Debierre).

Fig. 29. — Mécanisme de l'élévation de la cage thoracique (Debierre).

La ligne pleine représente la cage au repos, — la ligne pointillée, pendant l'inspiration.

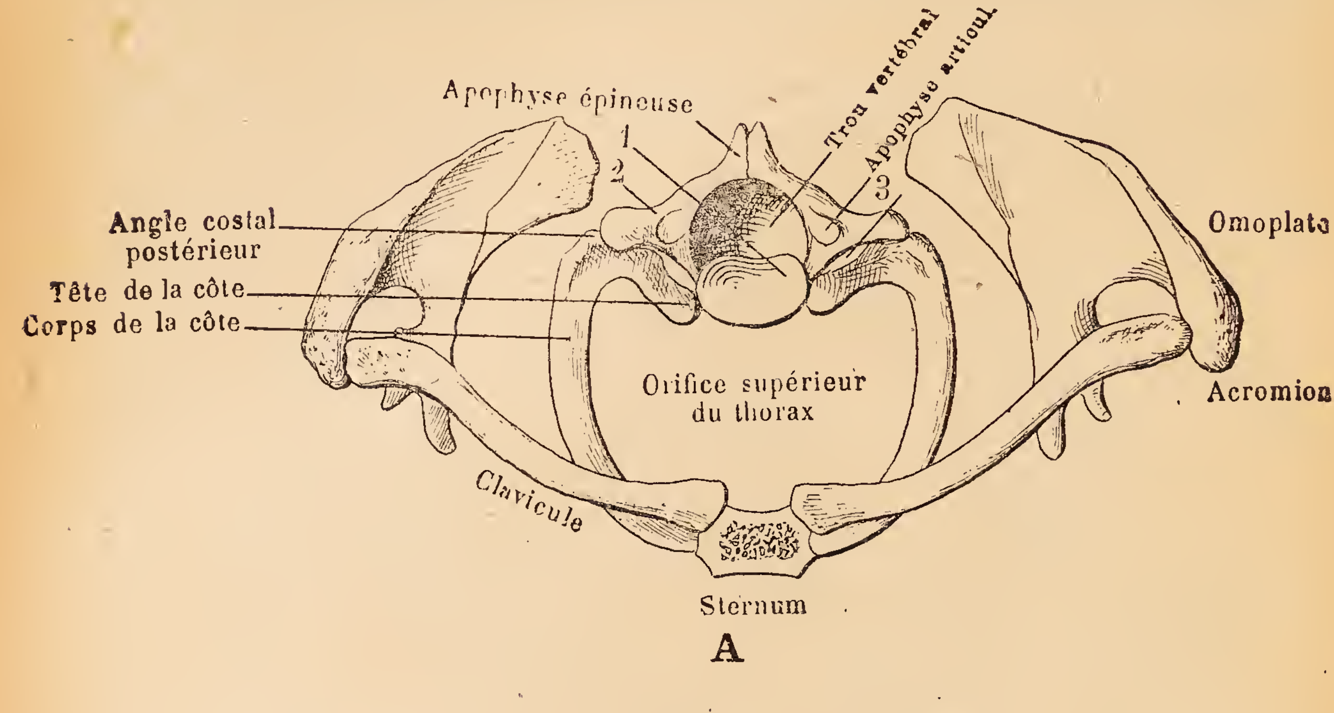
les ligaments reliant la clavicule au sternum et les muscles unissant l'omoplate au thorax, de là sa mobilité extrême permettant au bras les mouvements les plus étendus. Cette mobilité est aussi la cause de ses fréquentes malformations[1] (fig. 30).

L'humérus est relié à l'omoplate par un ligament en forme de capsule très lâche, sa tête n'est pas emboîtée dans la cavité glénoïde, trop peu étendue pour cela. Les muscles se chargent d'apporter à cet assemblage la solidité qui lui manque sans en compromettre la mobilité.

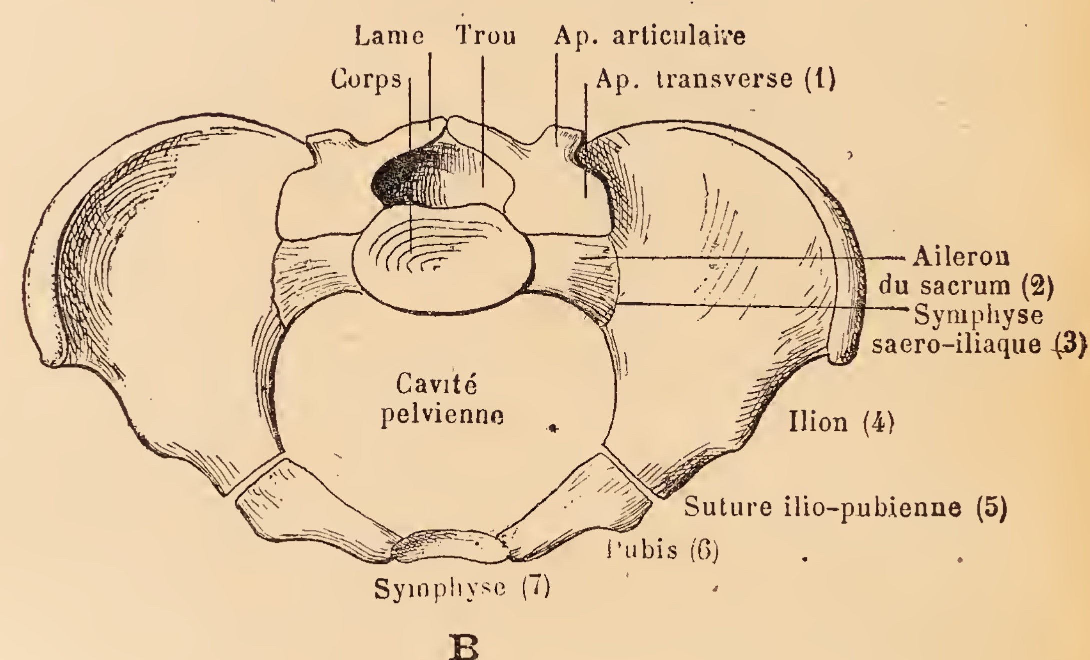
Au bassin (fig. 30) nous voyons au contraire une solidité toute particulière. Le bassin est une ceinture rigide formée de

1. Voir *Les bases scientifiques de l'Éducation physique*, 2e édition; Paris, F. Alcan, 1903.

deux parois épaisses ménageant les fosses iliaques où le poids



A



B

Fig. 30.

A — Ceinture scapulaire et ceinture thoracique vues d'en haut.

1, corps de la première vertèbre dorsale, et 2, son apophyse transverse ; — 3, trou transversaire homologue à celui qui est percé dans l'épaisseur des apophyses transverses des vertèbres cervicales.

B — Ceinture pelvienne.

L'apophyse transverse (1) représente la même apophyse des vertèbres des autres régions, — l'aileron (2) représente l'apophyse costiforme des vertèbres des autres régions ; — l'ilion (4) représente le scapulum ; — le pubis (6) représente la clavicule (?) ; — la symphyse pubienne (7) représente l'articulation interclaviculaire.

des viscères vient reposer en partie. Cette ceinture sert d'insertion aux muscles puissants de la locomotion. Deux cavités profondes, les cavités cotyloïdes, logent presque entièrement la tête

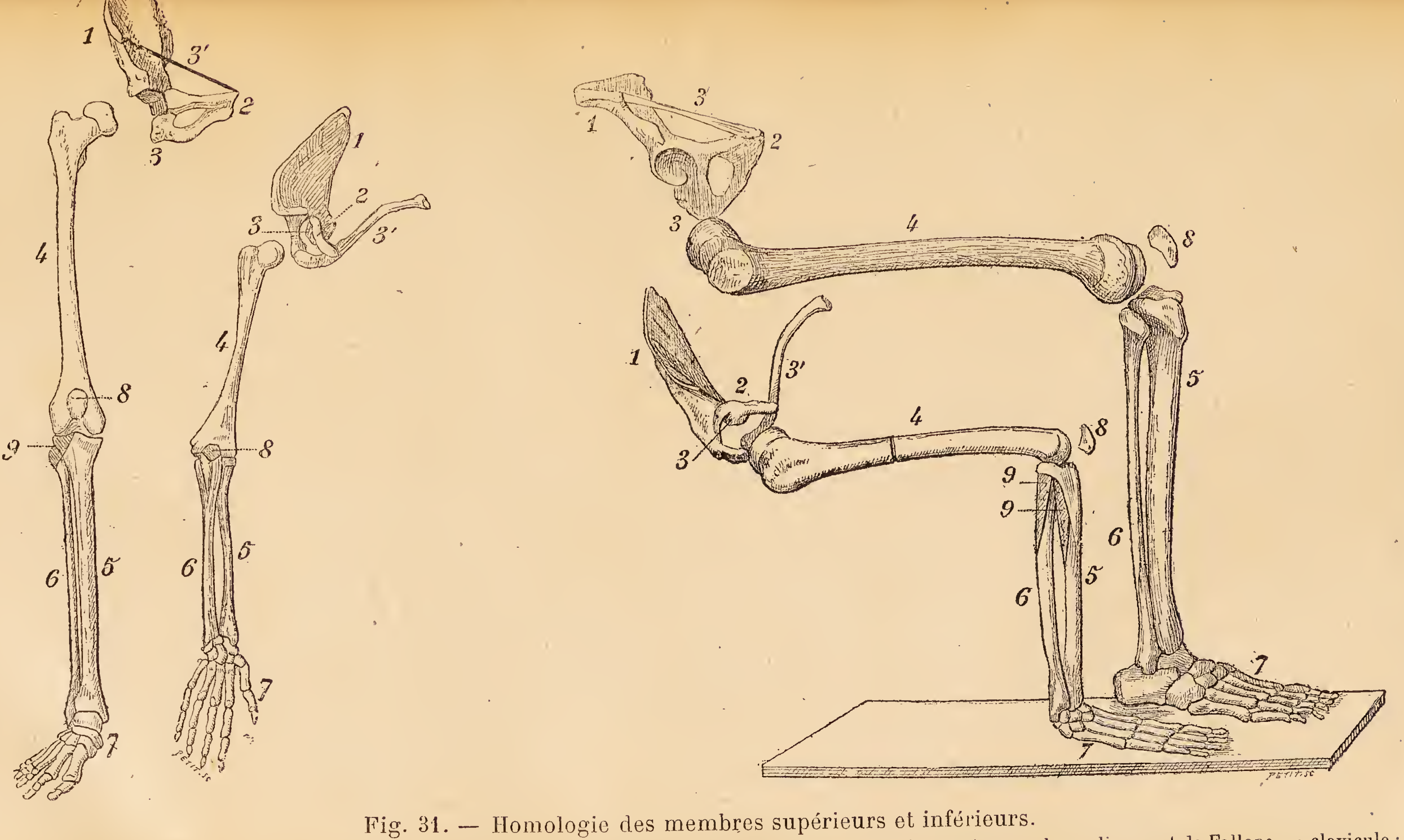


Fig. 31. — Homologie des membres supérieurs et inférieurs.

1, 1, ilium = scapulum ; — 2, 2, pubis = coracoïdien ; — 3, 3, ischion = sus-glénoïdien ; — 3', 3', arcade crurale ou ligament de Fallope = clavicule ; — 4, fémur = humérus ; — 5, 5, tibia = radius ; — 6, 6, péroné = cubitus ; — 7, 7, pied = main ; — 8, 8, rotule olécrâne ; — 9, surface qui se détache de l'extrémité supérieure des os de la jambe pour aller constituer la rotule.

des fémurs, colonnes chargées de supporter le poids du corps et toutes les pressions transmises par les pieds. Le col du fémur rejette latéralement ces colonnes de soutien parallèlement à l'axe du corps.

Bras, avant-bras et main. — A l'avant-bras, le radius et le cubitus peuvent tourner autour d'un axe ce qui permet à la main de présenter tantôt sa face palmaire (pronation) tantôt sa face dorsale (supination) du côté du sol (fig. 22).

Le carpe formé de huit petits os donne à la main une mobilité parfaite; les doigts longs et divisés en phalanges, l'articulation du trapèze avec le premier métacarpien, permettent au pouce de s'opposer aux autres doigts et font de la main un organe parfait de préhension.

L'homme pour lutter contre les autres animaux, souvent mieux partagés que lui sous le rapport de la force, a eu sa constitution cérébrale d'abord et sa main ensuite pour réaliser ses moyens de défense, il ne faut pas l'oublier.

Membre inférieur. — Le tibia est l'os de la jambe ayant le rôle de support véritablement utile; le péroné apporte un surcroît de solidité à cette colonne, il sert surtout de surface d'insertion aux muscles du pied et à maintenir les rapports de ces muscles longs faciles à déplacer.

Le tarse est moins mobile que le carpe, il est disposé pour permettre à la face plantaire du pied de s'appliquer sur le sol. Les orteils sont rabougris dans une extension forcée. Leur dégénérescence provient de leur rôle peu délicat; chargés de supporter le poids du corps, constamment enfermés dans des chaussures qui les compriment, ils ne peuvent être comparés aux doigts de la main libres et déliés (fig. 31). Chez 30 p. 100 de sujets examinés le petit orteil n'a plus que deux phalanges.

§ 3. — Mouvements articulaires.

Leur dénomination. Leurs limites naturelles. — Pour être précis, il est encore nécessaire de revenir sur la dénomination des mouvements du corps; il est intéressant aussi d'examiner l'amplitude possible de ces mouvements et d'étudier la limite de chacun d'eux.

Etant en station droite, nous acceptons les définitions suivantes :

L'*élévation*, c'est porter une partie du corps verticalement en haut; l'*abaissement* est le mouvement contraire

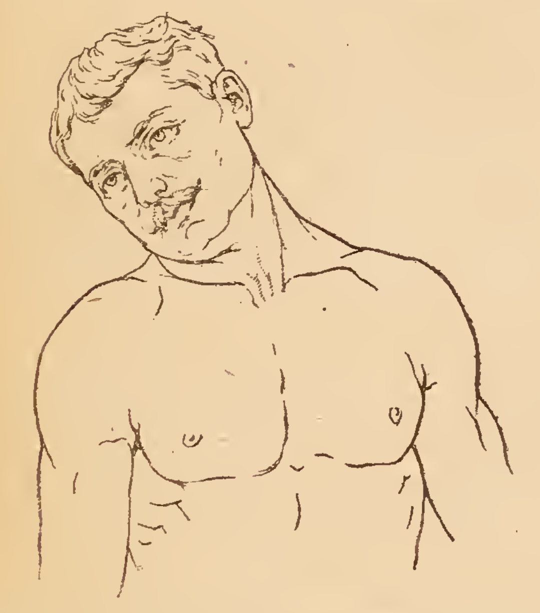


Fig. 32. — Flexion de la tête [1].



Fig. 33. — Extension de la tête.

La *flexion* est l'acte de mouvoir deux segments osseux d'abord dans le prolongement l'un de l'autre, suivant un angle



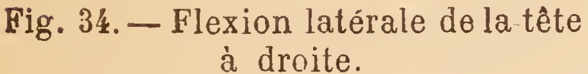


Fig. 34. — Flexion latérale de la tête à droite.



Fig. 35. — Rotation de la tête à gauche.

plus ou moins aigu ; l'*extension* celui de ramener les deux segments dans la rectitude.

1. Figures ayant servi au *Manuel de gymnastique* du Ministère de l'Instruction publique.

La *rotation* est le mouvement autour d'un axe le plus souvent parallèle à l'axe des os.

L'*abduction*, l'écartement d'un membre du tronc; l'*adduction*, son rapprochement de la ligne médiane.

La *circumduction* est le mouvement angulaire dans lequel l'extrémité du membre décrit des cercles ou portions de cercles situés sur une sphère ayant pour centre l'articulation.

Les traités d'anatomie donnent les noms des muscles avec leurs insertions et leur action isolée sur le squelette.

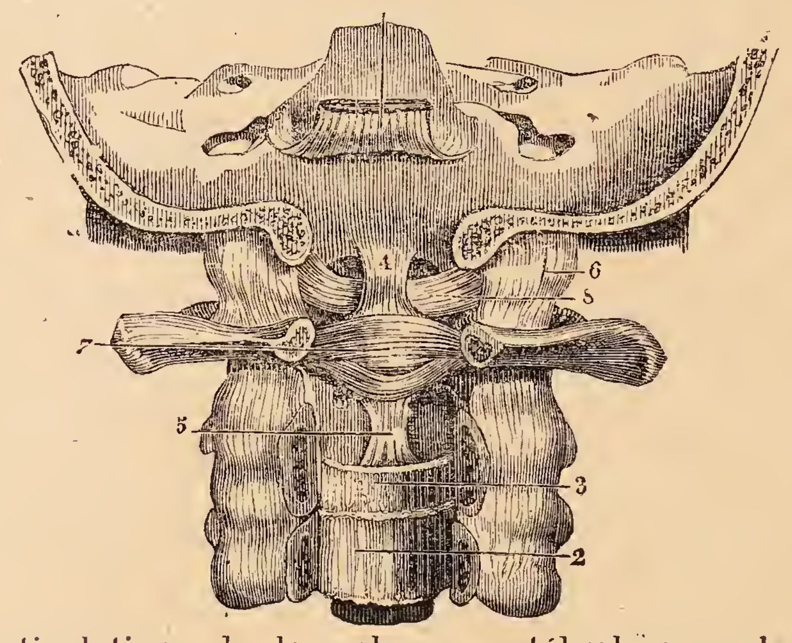


Fig. 36. — Articulations de la colonne vertébrale avec le crâne, et de l'atlas avec l'axis. — Région intrarachidienne antérieure (Debierre).

1, 2, 3, 4, 5, ligaments occipito-axoïdiens; — 1, insertion supérieure des faisceaux superficiels et moyens; — 2, insertion inférieure du faisceau superficiel; — 3, insertion inférieure du faisceau moyen; — 4, moitié supérieure du faisceau profond; — 5, moitié inférieure du faisceau profond; — 6, capsule fibreuse de l'articulation latérale de l'occipital et de l'atlas; — 7, ligament transverse; — 8, ligaments ondotoïdiens latéraux; — 4, 5, 7, la réunion de ces deux ligaments constitue le ligament cruciforme.

Mouvements de la tête. — La tête peut s'incliner en avant, en arrière et latéralement. Elle peut se tourner à gauche et à droite. En avant le mouvement se passe entre les condyles de l'occipital et l'atlas, la région cervicale y prend sa part (fig. 32, 33, 34, 35).

Le mouvement est limité par la rencontre du menton et du sternum, en arrière par la tension des ligaments et des muscles fléchisseurs. De côté l'inclinaison arrive presque jusqu'au contact de la joue avec l'épaule, elle est limitée également par la tension des muscles et ligaments du côté opposé. La rotation se passe entre l'atlas et l'axis et dans les vertèbres cervicales (fig. 36). J'ai vu cette rotation acquérir une amplitude de 90°, mais ce fait est anormal.

MOUVEMENTS DU TRONC. — Le tronc se fléchit, s'étend, s'incline latéralement et se tord. Mais il faut bien distinguer les mouvements propres du rachis amenant les changements de forme du tronc avec ceux du tronc sur les têtes fémorales (fig. 49).

La flexion du tronc c'est l'incurvation de la colonne vertébrale, attitude où le pubis et le menton sont rapprochés du sternum. Il n'y a plus alors qu'une seule courbure vertébrale due aux fléchisseurs du tronc (muscles de l'abdomen) et fléchisseurs de la tête. Dans la flexion du tronc sur les cuisses (fig. 39)

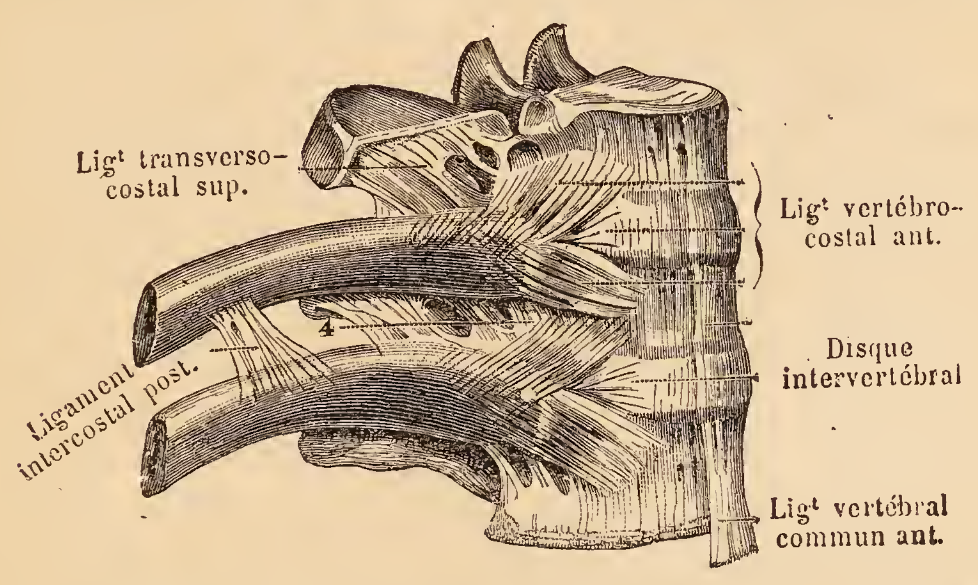


Fig. 37. — Articulations des vertèbres entre elles et des côtes avec les vertèbres (DEBIERRE).

le mouvement beaucoup plus étendu se passe dans les articulations de la hanche. Excepté dans les mouvements rapides où il y a une résistance à vaincre ce ne sont pas les fléchisseurs qui maintiennent le tronc fléchi, au contraire, les extenseurs empêchent le poids du corps de l'emporter en avant. La flexion est limitée par l'élasticité des ligaments jaunes, la souplesse des disques intervertébraux et l'amplitude des mouvements articulaires des vertèbres; elle est réduite en proportion du volume des viscères abdominaux. Un sujet maigre touchera facilement les pieds avec la main; un volumineux abdomen sera une impossibilité radicale apportée à la flexion (fig. 40).

L'extension du tronc se passe comme la flexion dans les vertèbres et dans l'articulation de la hanche. Étendre le tronc c'est rectifier la colonne vertébrale. Nous avons vu précédemment les conditions favorables à ce redressement[1]. Il faut rectifier

1. Conditions esthétiques de l'exercice, in *Bases scientifiques de l'Éducation physique.*

séparément la région cervicale et la région lombaire, la région

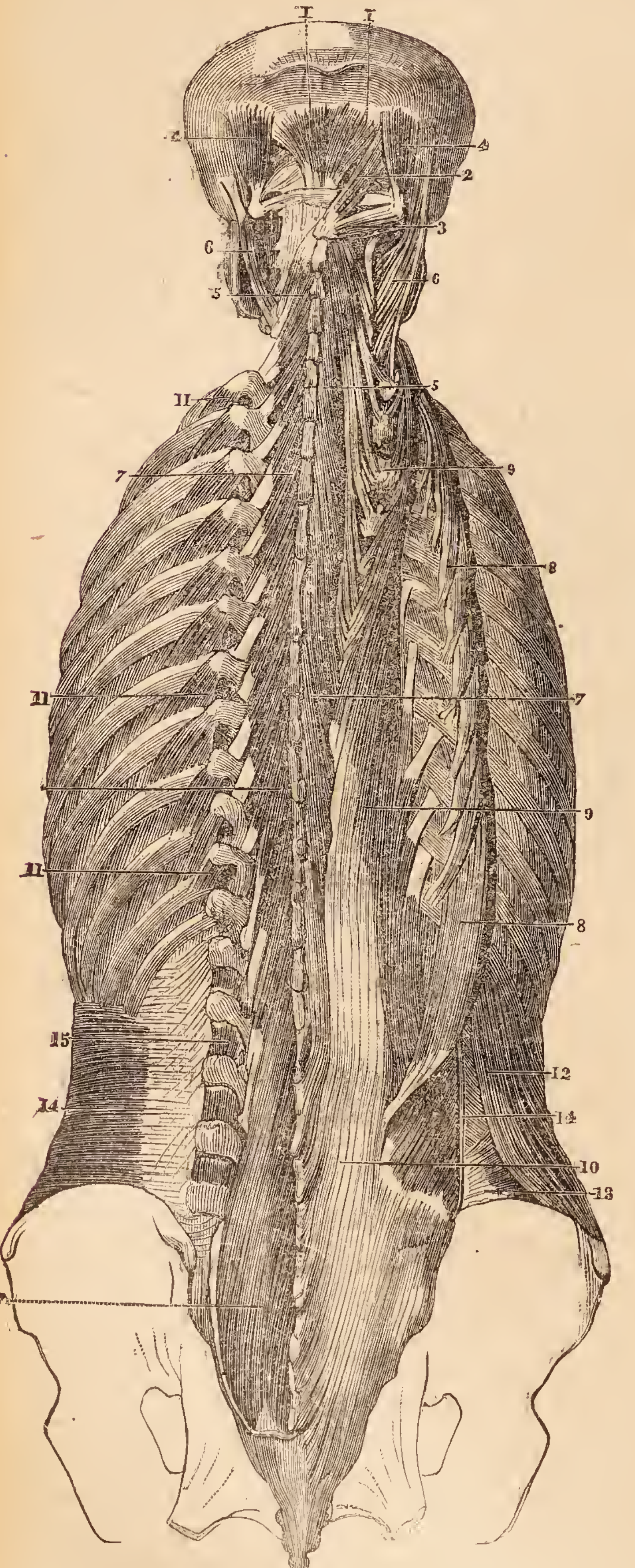




Fig. 39. — Flexion du tronc sur les cuisses.

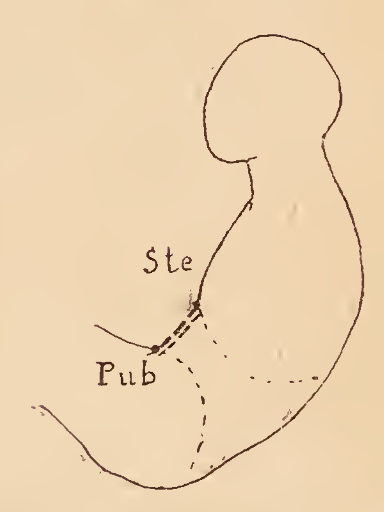


Fig. 40. — Action des muscles gr. droits de l'abdomen.

Dans leur raccourcissement le pubis Pub se rapproche du sternum Ste.

dorsale étant pour ainsi dire invariable. Pour rectifier la région cervi-

Fig. 38. — Muscles de la partie postérieure du dos et du cou, couche profonde (DEBIERRE).

1, 1, muscle petit droit postérieur de la tête ; — 2, un grand droit postérieur de la tête ; — 3, un grand droit postérieur de la tête ; — 4, un petit oblique postérieur de la tête ; — 5, 5, un interépineux ; — 6, 6, un petit complexus ; — 7, 7, 7, un transversaire épineux du cou, du dos et des lombes ; — 8, un sacro-lombaire ; — 9, 9, un long dorsal ; — 10, masse commune des muscles spinaux postérieurs ; — 11, 11, 11, muscles surcostaux ; — 12, un grand oblique ; — 13, un petit oblique ; — 14, un transverse ; — 15, un intertransversaire des lombes.

cale, il ne suffit pas de lever la tête, il faut au contraire serrer le menton au cou et la relever avec le cou. Pour rectifier la région lombaire il faut raccourcir les muscles de l'abdomen. La limite d'extension du tronc sur les têtes fémorales est assez restreinte, c'est celle de l'extension des cuisses sur le tronc. Dès que l'inclinaison du corps dépasse la verticale, les extenseurs se relâchent (fig. 41).

Il faut pour produire une action énergique des extenseurs s'incliner en avant en s'efforçant de tenir le tronc dans la rectitude (fig. 42).

La flexion latérale du tronc se passe dans la région lombaire.

Elle est accompagnée de mouvements du tronc sur les hanches si l'on n'a pas soin de fixer celles-ci. Il suffit de s'asseoir à cheval sur un banc ou d'écarter les jambes en les maintenant tendues pour obtenir la fixité nécessaire du bassin (fig. 43).

Fig. 41. — Extension du tronc avec élévation des bras, mains en pronation.

Cette fixation du bassin est encore plus indispensable dans les mouvements de torsion du tronc. Nous pouvons regarder en arrière mais ce

Fig. 42. — Attitudes actives demandant une grande énergie à cause de leur amplitude et de l'inclinaison du corps. (L'appui des mains aux hanches peut diminuer l'intensité de la contraction musculaire dans une flexion latérale du tronc.)

mouvement se passe presque entièrement dans la tête et la hanche (fig. 44). Étant les jambes écartées ou assis à cheval sur

un tabouret, cette torsion se réduit considérablement et toujours elle est accompagnée de légers mouvements dans la tête et les épaules (fig. 42) La torsion est possible au cou et à la région lombaire; la région dorsale étant presque solide, aucune torsion ne peut porter atteinte aux poumons ni aux gros vaisseaux.

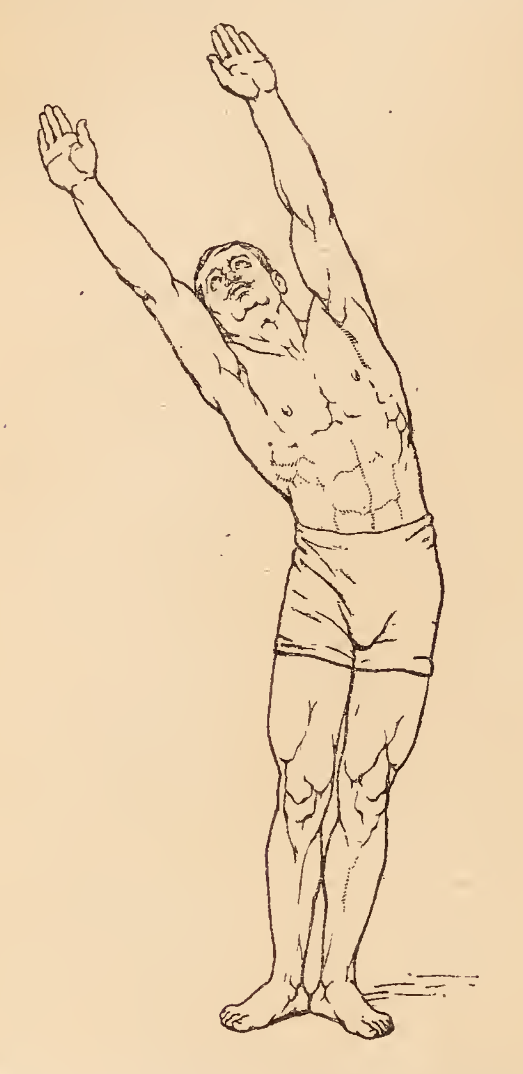


Fig. 43. — Flexion latérale du tronc les bras élevés.

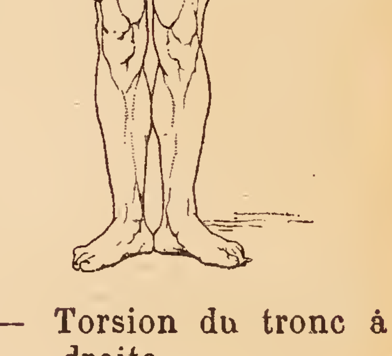


Fig. 44. — Torsion du tronc à droite.

La mobilité de la colonne vertébrale dans les différentes régions dépend de l'épaisseur des disques intervertébraux, de la longueur des ligaments, de la direction des articulations des vertèbres, de l'imbrication et de la longueur des apophyses épineuses. Lorsqu'on courbe la colonne vertébrale débarrassée de ses côtes, elle revient d'elle-même à sa première position, comme un arc élastique, et lorsqu'on enlève toutes les apophyses, la mobilité augmente, ce qui prouve que les limites imposées aux mouvements sont uniquement ces arcs eux-mêmes.

Les muscles moteurs agissent à l'extrémité des apophyses

épineuses et transverses, ce sont des leviers puissants presque perpendiculaires à l'action des muscles (fig. 37 et 38). La flexion du tronc, principalement la flexion latérale, est diminuée d'amplitude chez les sujets un peu gras, la résistance des viscères et des tissus comprimés s'opposant comme un coussin au mouvement à partir d'une certaine limite. Les muscles fléchisseurs entrent alors en action du côté de la flexion.

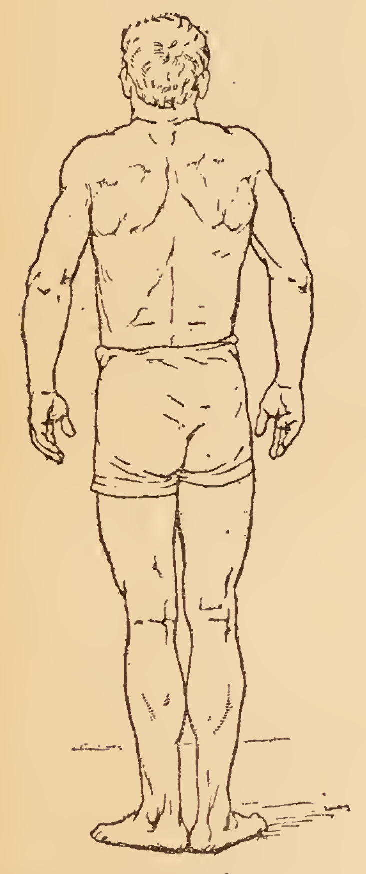


Fig. 45. — Élévation de l'épaule.

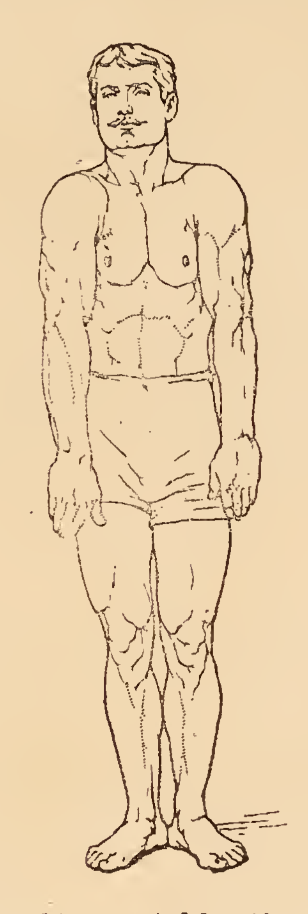


Fig. 46. — Adduction des épaules.



Fig. 47. — Effacement des épaules par l'action des muscles dorsaux.

Mouvements de l'épaule. — Le moignon de l'épaule peut s'élever, s'abaisser, se porter en avant et en arrière, il est susceptible également d'une circumduction confuse (fig. 45, 46, 47).

Les limites à ces mouvements sont celles de l'articulation de la clavicule avec le sternum et le raccourcissement dont les muscles sont susceptibles. Lorsqu'on change brutalement la position de l'épaule, en l'arrachant du thorax, les muscles antagonistes s'y opposent et limitent le mouvement. L'épaule, nous l'avons vu, tire sa solidité des muscles qui la recouvrent, sa forme et sa position dépendent de l'équilibre de ces forces

toujours en opposition : poids du bras et élévateurs, pectoraux grands dorsaux pour l'abaissement, et trapèzes rhomboïdes pour le rapprochement en arrière.

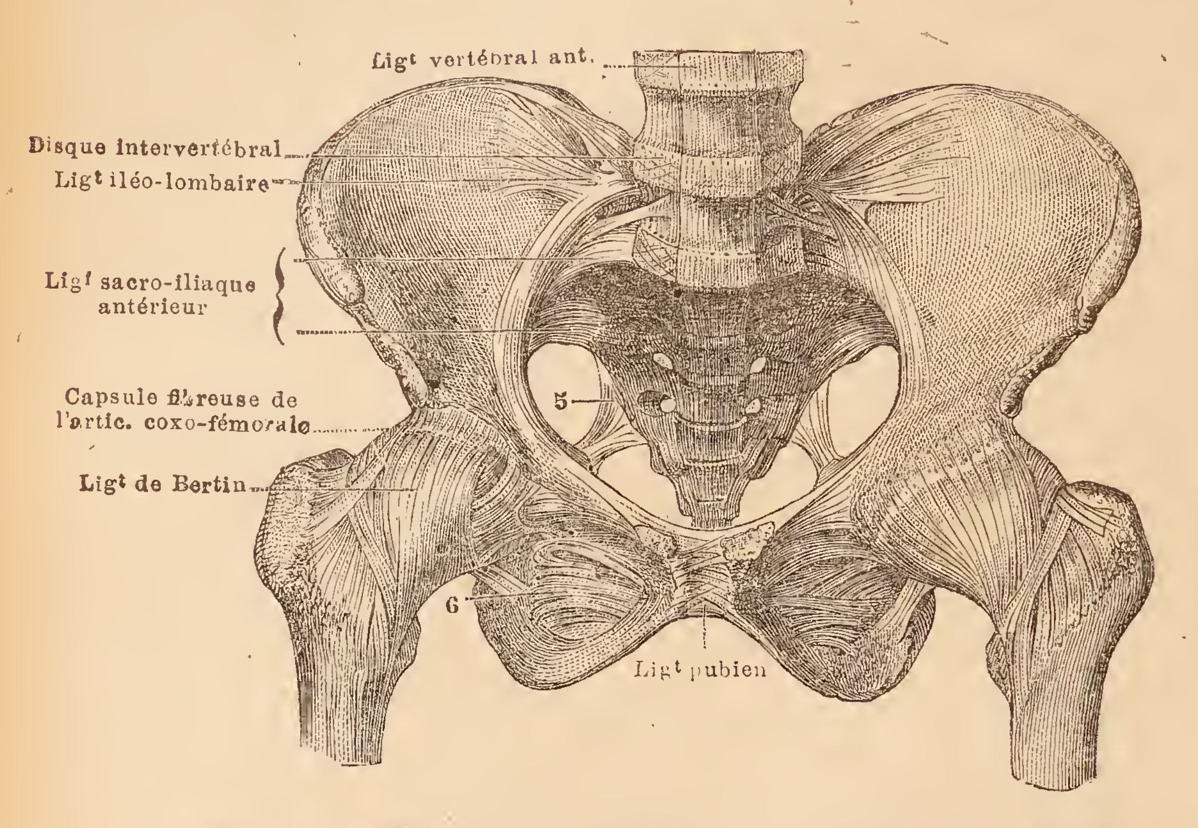


Fig. 48. — Ligaments du bassin. Vue antérieure (Debierre).

5, petit ligament sacro-sciatique ; — 6, membrane obturatrice ou sous-pubienne.

Mouvements du bassin. — Au bassin, au contraire, il y a solidité presque absolue, les mouvements de la hanche sont dus à



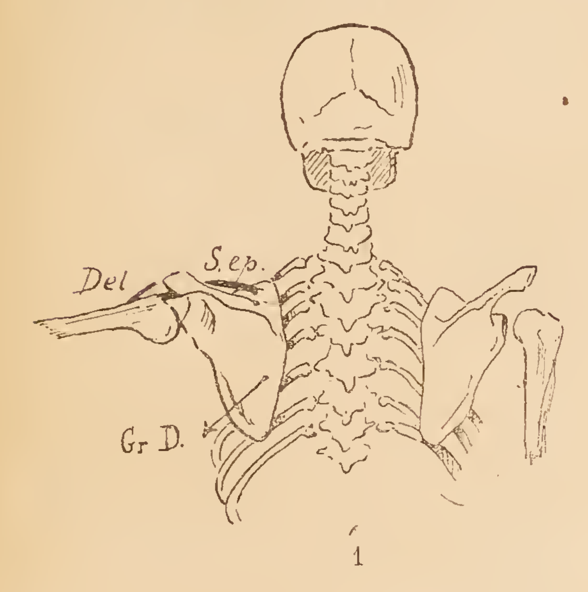
Fig. 49. — Flexion latérale du tronc.

1, Exécution correcte, la ligne des têtes fémorales FF' demeurant horizontale ; — 2, mouvement incorrect se passant en partie dans l'inclinaison FF du bassin.

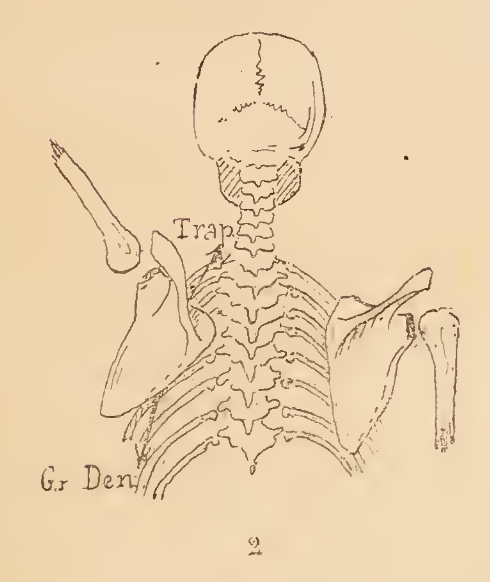
la mobilité de la région lombaire et aux mouvements sur les têtes fémorales. Si le tronc est fixé, le bassin peut se mouvoir

sur la colonne vertébrale; inversement, si le bassin est fixe, la colonne vertébrale peut se mouvoir sur lui, mais il ne faut pas confondre ces mouvements du tronc avec ceux qui se produisent sur les têtes fémorales (fig. 48 et 49).

Mouvements des bras. — La grande amplitude des mouvements des bras est due en partie à son mode d'articulation avec l'omoplate mais spécialement aussi aux mouvements propres de celle-ci, nous en avons déjà parlé à propos de l'ampliation thoracique (*Bases scientifiques de l'Éducation physique*).



L'abduction du bras peut se diviser en 3 périodes.



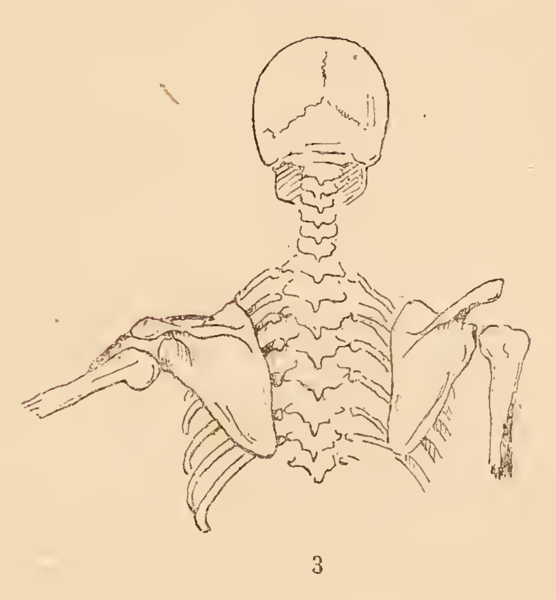


Fig. 50. — Action des muscles Trapèzes et Grand dentelé dans l'élévation horizontale (1) et verticale (2) du bras; (3) attitude de l'épaule et du bras à la suite de l'atrophie de ces muscles.

1° *Écart du bras jusqu'à 45°* produit par la contraction de toutes les parties du deltoïde et du sus-épineux.

2° *Écart de 45 à 90°* produit par la contraction de la partie moyenne du deltoïde pendant que le sus-épineux serre la tête de l'humérus contre la cavité glénoïde. Cette attitude vulgairement appelée bras tendu a pour effet de faire basculer l'omoplate autour de son angle externe, de soulever le bord spinal

en le dirigeant de haut en bas et de dehors en dedans, de séparer en un mot l'omoplate du thorax en forme d'aile (fig. 50); mais le grand dentelé vient rétablir le parallélisme du bord

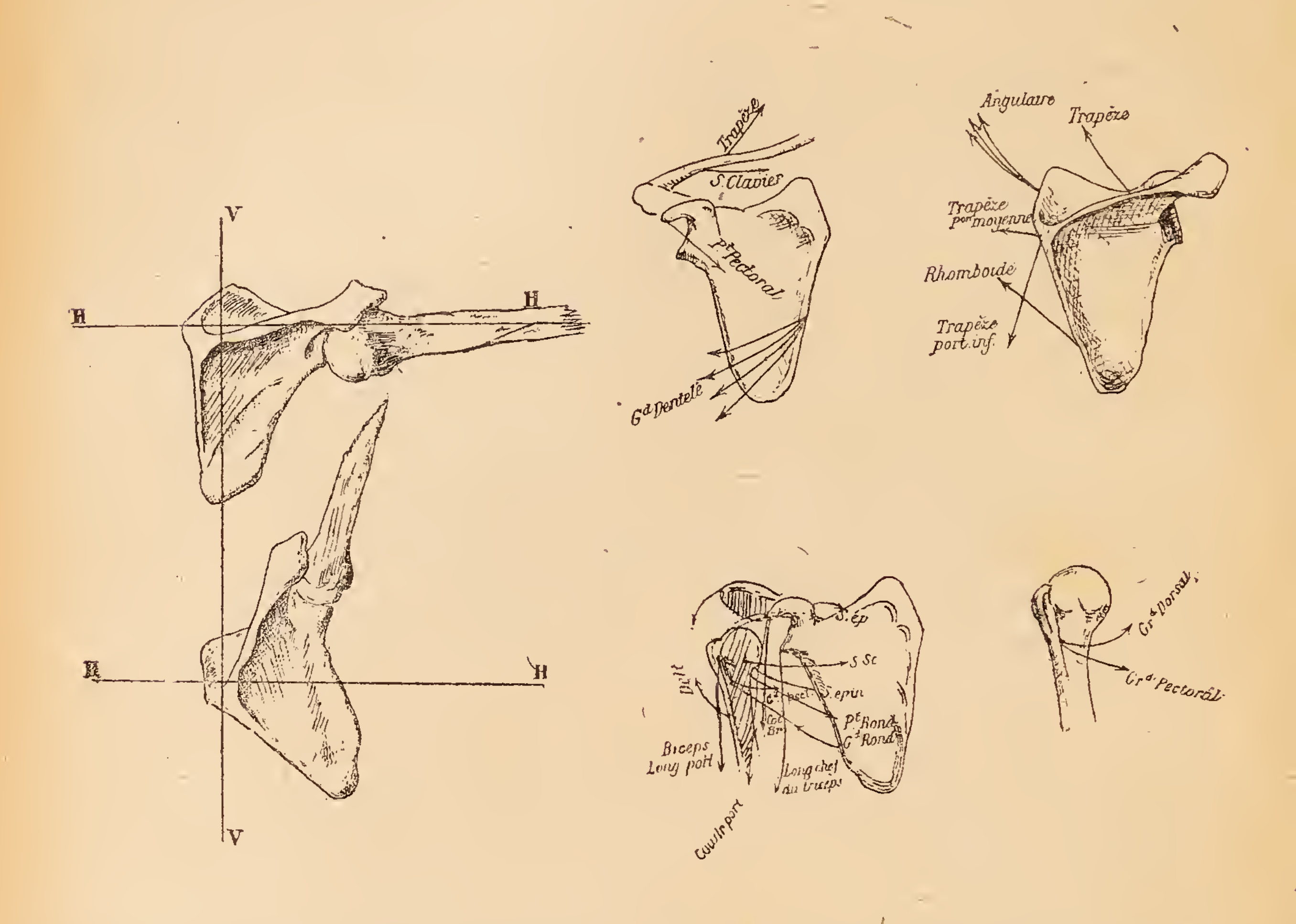


Fig. 51. — Mouvement de bascule de l'omoplate et du bras dans l'élévation de ce dernier.

HH, ligne horizontale; — VV, verticale.

Fig. 51 *bis*. — Schéma de l'action des différents muscles qui agissent sur la position relative de l'épaule par rapport au thorax.

On voit les muscles qui relient le bras à l'épaule, l'épaule au thorax, et le bras au thorax. Les flèches indiquent la direction de l'action musculaire; les lettres sont les abréviations des noms des muscles.

spinal et de la colonne vertébrale en l'attirant vers le bas et en l'appliquant fortement contre le thorax tandis que la partie supérieure du trapèze élève et maintient l'angle supérieur de l'omoplate.

Dans un effort violent, tous les fixateurs de l'omoplate : les trapèze, rhomboïde et angulaire entrent en action.

3° *Élévation verticale du bras*. La partie moyenne du deltoïde ne peut pas élever le bras au-dessus de l'horizontale, la rencontre

de la tête de l'humérus avec l'acromion amènerait la luxation en bas. Son action avec celle du sus-épineux est de maintenir le bras fixé à l'omoplate; alors, sous l'action du grand dentelé le système solide bras et omoplate bascule et exécute un mouvement angulaire de 90° amenant le bras dans la position verticale en tournant vers le haut la cavité glénoïde de l'articula-

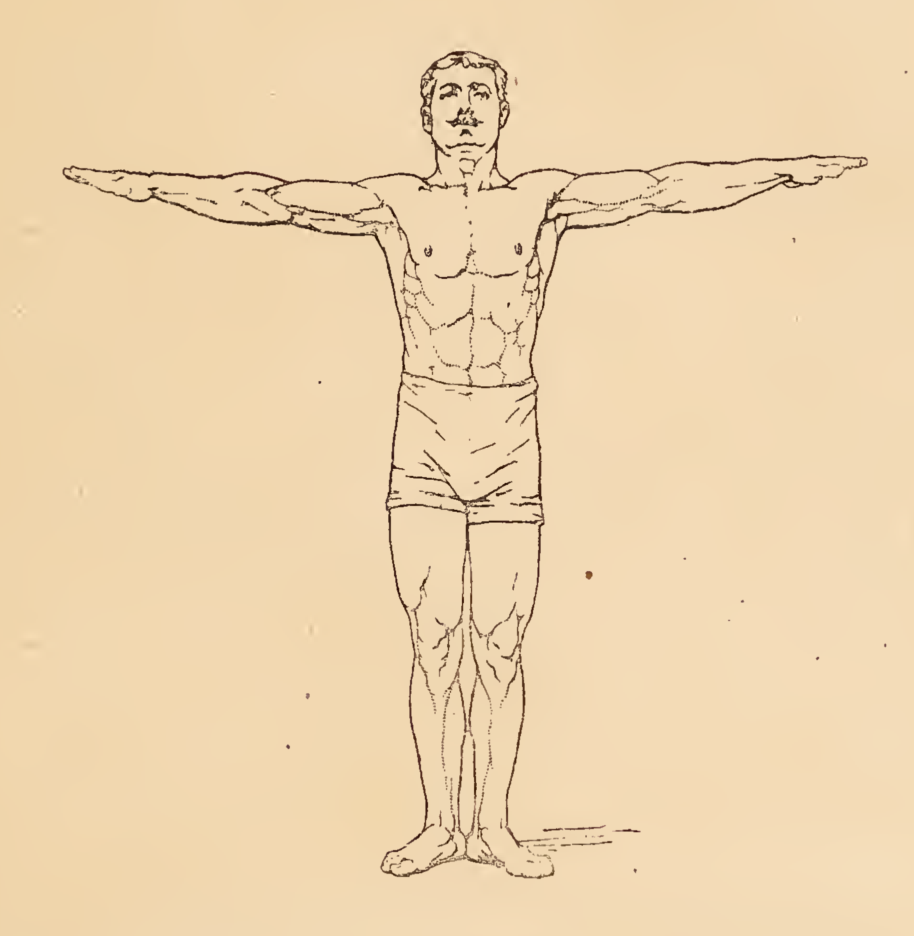


Fig. 52. — Élévation horizontale et latérale des bras.

tion. Ce mouvement, assimilable à celui d'un levier de sonnette, se fait autour d'un centre coïncidant à peu près avec l'angle interne de l'omoplate (fig. 51).

La clavicule suit ce mouvement et maintient l'acromion à une distance constante de l'extrémité sternale. Elle subit ainsi des pressions qui tendent à la fléchir, aussi présente-t-elle une courbure en S accentuée chez les sujets faisant des efforts violents avec les bras (fig. 52 et 53).

Les mouvements d'abduction du bras en avant diffèrent en ce que le premier et le deuxième temps sont accomplis par la partie antérieure du deltoïde; pendant la troisième période, c'est-à-dire pendant le mouvement de bascule de l'omoplate, la contraction se propage dans la partie moyenne du deltoïde

et ramène ainsi le bras et l'omoplate dans le même plan (fig. 54, 55 et 56).

L'abduction du bras en arrière ne peut s'effectuer au delà de

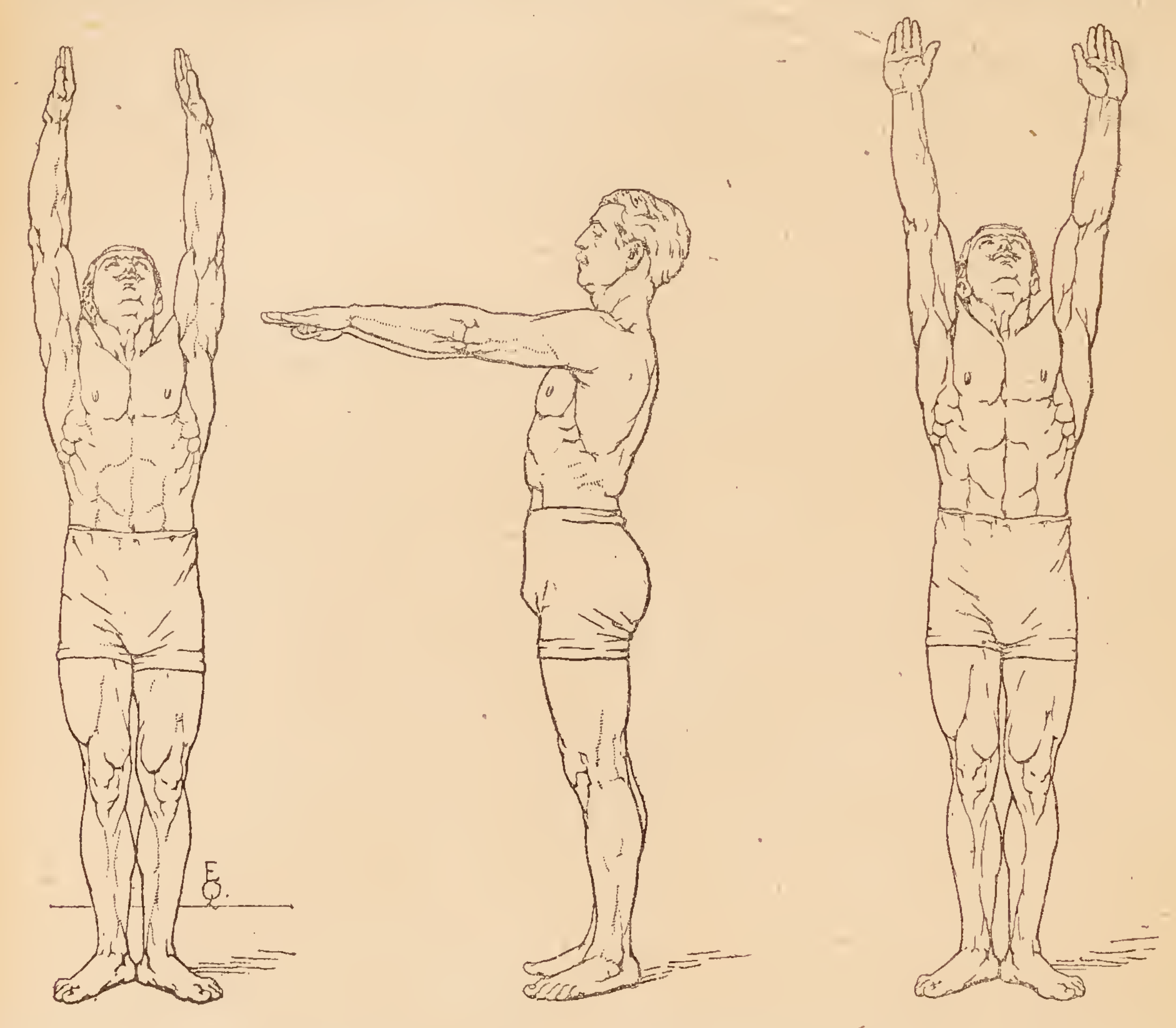


Fig. 53. — Élévation latérale des bras, la paume des mains tournée de côté.

Fig. 54. — Élévation horizontale des bras en avant.

Fig. 55. — Élévation des bras en avant, la paume des mains tournée en avant.

40° environ, le mouvement est limité par la rencontre de la tête de l'humérus avec l'acromion, en haut et l'apophyse coracoïde en avant (fig. 57), l'omoplate ne bascule pas, la partie postérieure du deltoïde produit l'écartement du bras et l'angle inférieur de l'omoplate tend à être écarté du thorax (fig. 58 et 59).

Dans l'attitude dite suspension renversée, l'abduction en arrière peut dépasser 90°, c'est-à-dire être plus du double de l'abduction normale (fig. 60).

Dans cette attitude défectueuse à tous points de vue, les bras conservent leur parallélisme, le poids du corps agit tout entier

pour arracher l'épaule, il s'applique à l'extrémité d'un bras de levier considérable et cette charge excessive est supportée en totalité par les ligaments et les muscles de l'articulation de de l'épaule (fig. 58). Nous reviendrons sur les inconvénients de cette exagération d'amplitude.

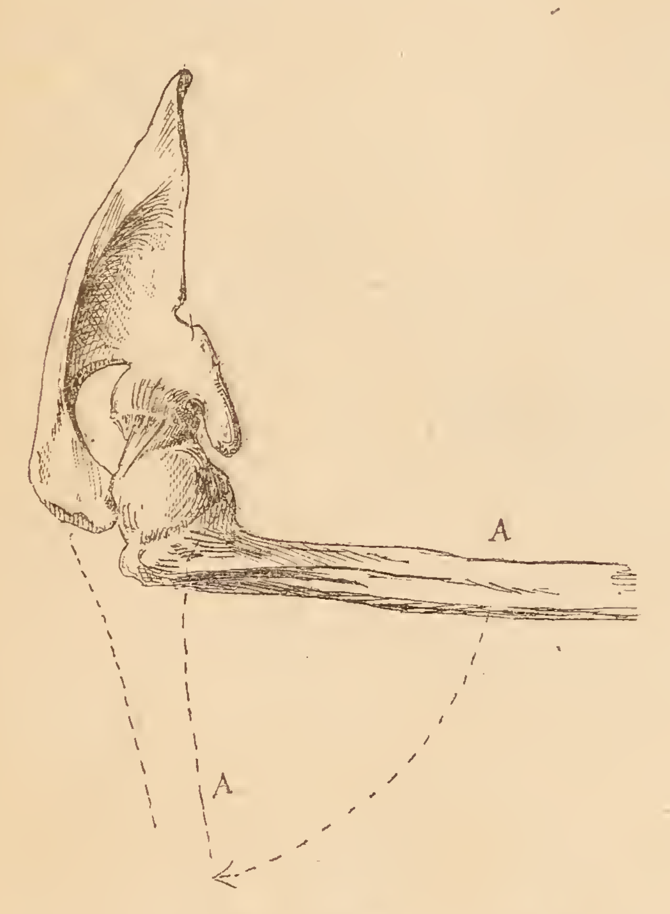


Fig. 56. — Mouvement de l'humérus pendant le mouvement de bascule de l'omoplate dans l'élévation verticale du bras en avant.



Fig. 57. — Abduction des bras en arrière.

L'adduction du bras peut s'exécuter en avant et en arrière du corps ; dans les deux cas le mouvement d'ailleurs restreint est limité par la rencontre du bras avec le tronc, en avant ce sont les pectoraux, en arrière les muscles grands dorsaux qui ont la prédominance (fig. 61).

La rotation du bras est environ de 180°, il ne faut pas la confondre avec les mouvements de l'avant-bras et de la main. Les muscles rotateurs du bras ont leur maximum d'effet dans l'abaissement du bras, leur minimum dans l'élévation, les tendons des grands pectoral et dorsal s'enroulent sur l'os pendant le mouvement de rotation (fig. 62 et 63).

La circumduction du bras est généralement mal comprise. Si

l'on effectue le mouvement avec toute l'amplitude qu'il comporte on se convaincra facilement de l'impossibilité de faire décrire au bras un cercle dans un seul plan.

Commençant le mouvement par l'élévation du bras en avant,

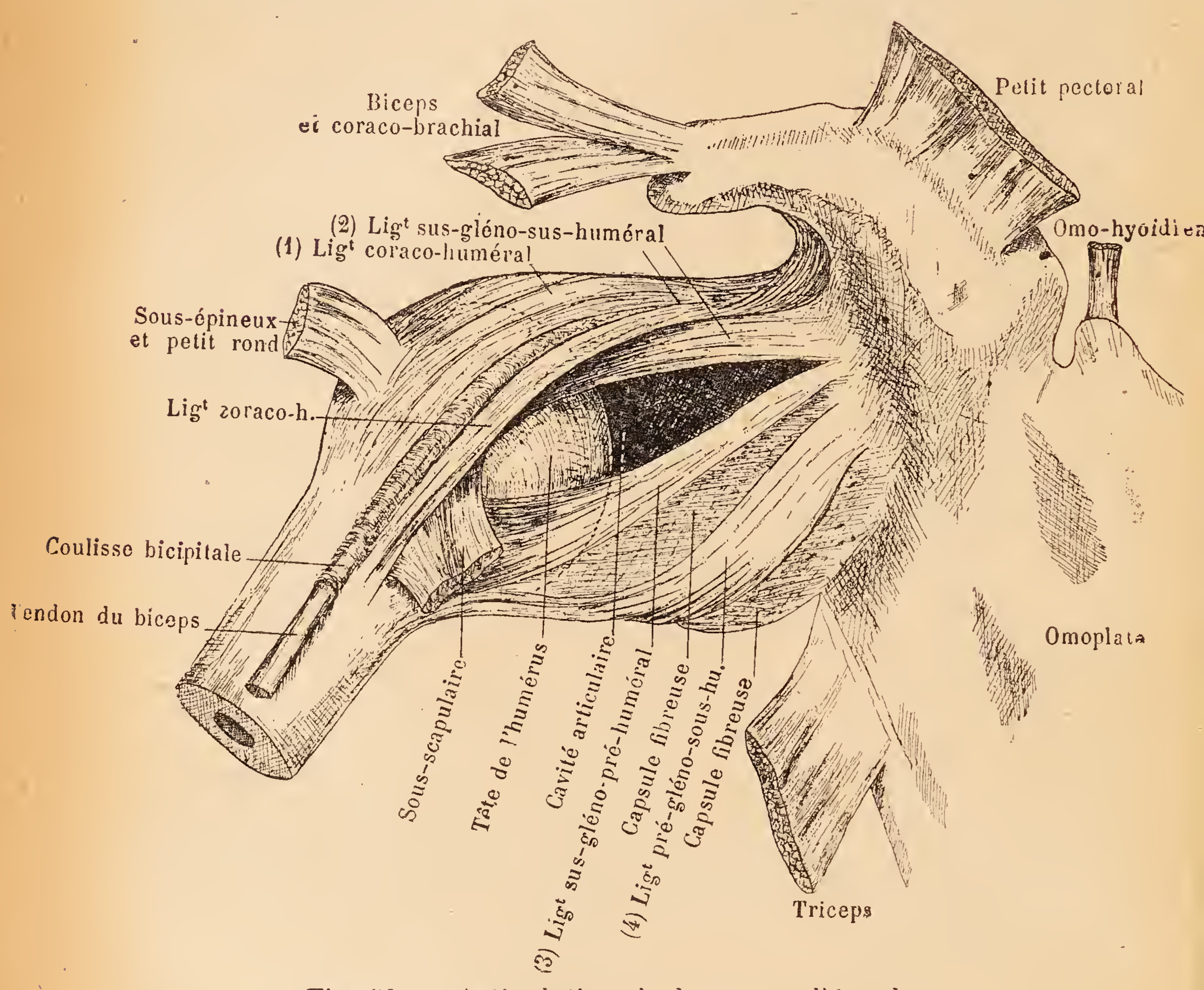


Fig. 58. — Articulation du bras avec l'épaule.

On voit la tête de l'humérus dans la cavité articulaire. Les insertions musculaires et les ligaments ont été écartés.

on sera arrêté à la position verticale et il sera impossible de faire descendre le bras dans le plan antéro-postérieur. L'abaissement aura forcément lieu dans le plan des épaules perpendiculaire à celui-ci (fig. 64, 65 et 66).

La circumduction est donc composée de deux demi-cercles dans des plans rectangulaires. Dans les mouvements peu étendus, le bras peut décrire des cônes ayant leur axe dirigé à 45° environ avec les deux plans antéro-postérieur et transverse.

Les mouvements d'abduction du bras sont pénibles, car le deltoïde, comme presque tous les extenseurs des membres,

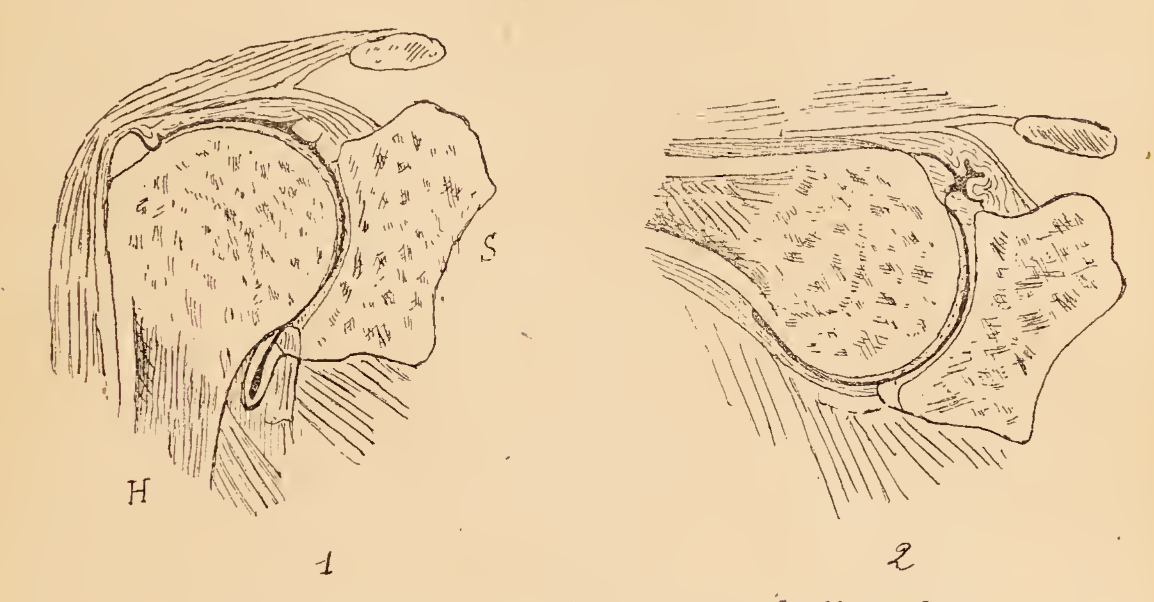


Fig. 59. — Coupe de l'articulation de l'épaule.

1, dans l'abaissement de l'humérus H ; — 2, dans l'élévation horizontale. — S, coupe de l'omoplate.

n'a jamais ses fibres perpendiculaires à l'os à mouvoir, son bras de levier est fort court relativement à la longueur totale

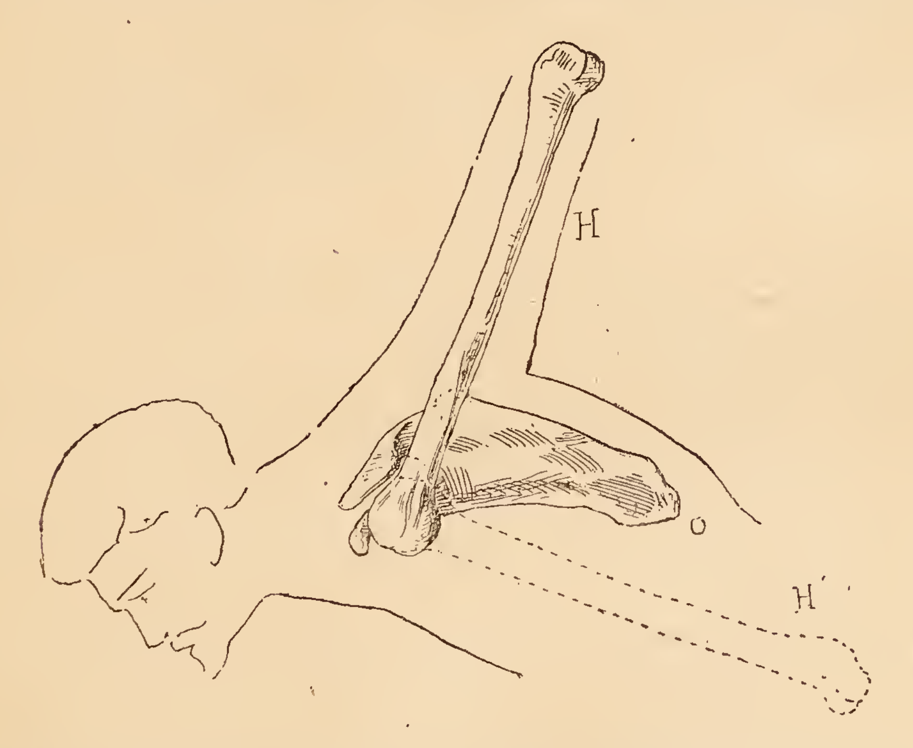


Fig. 60. — Montrant l'abduction exagérée de l'humérus dans une attitude du renversement aux anneaux.

du membre supérieur. Les enfants et les sujets faibles ont beaucoup de peine à faire correctement les mouvements

horizontaux des bras étendus, surtout les mains chargees d'haltères.

MOUVEMENTS DU MEMBRE INFÉRIEUR. — La cuisse peut s'écarter atéralement de 45° environ ; le mouvement est limité par la

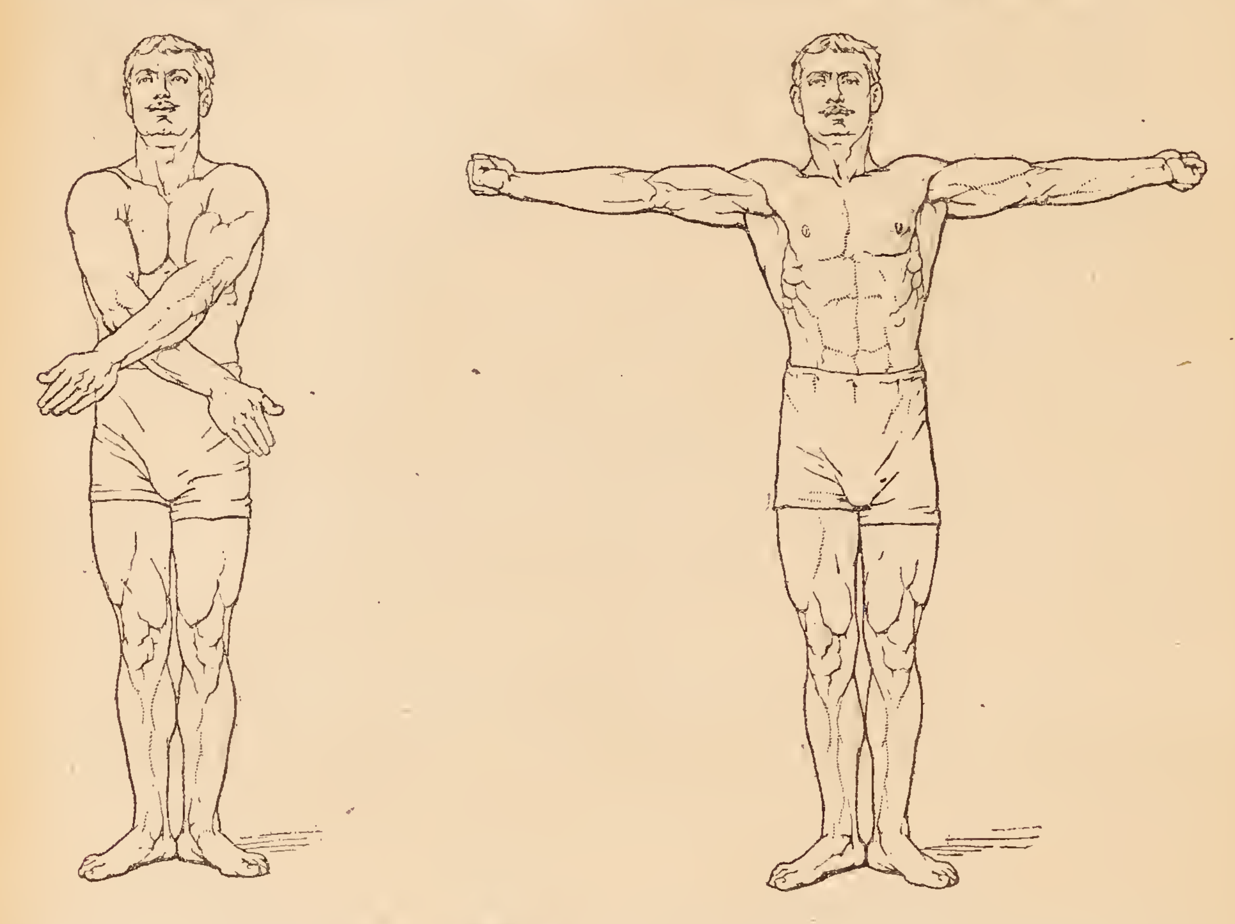


Fig. 61. — Adduction des bras.

Fig. 62. — Rotation des bras en dehors, bras horizontaux.

tension de la partie inférieure de la capsule articulaire (fig. 67, 68, 69, 70, 71 et 72).

Au delà de cette étendue le mouvement devient anormal puisqu'il exige la sortie de la tête du fémur de sa cavité cotyloïde (fig. 73 et 74). C'est presque une luxation. On voit des danseurs effectuer de grands écarts mais il y a souvent là une illusion.

Le sujet se tourne de côté, écarte les deux jambes, mais, si l'on y regarde de près, une jambe est fléchie sur le tronc, l'autre étendue et le tronc dans son prolongement; il n'y a là aucune abduction latérale exagérée (fig. 75). Il y a cependant des disloqués qui peuvent écarter la cuisse de 90°. Ce sont là des conditions tout à fait anormales, incompatibles avec la solidité des articulations. La danseuse exécutant un grand battement peut

écarter la cuisse à plus de 90°, mais le mouvement s'explique par l'élan donné au membre inférieur (fig. 73).

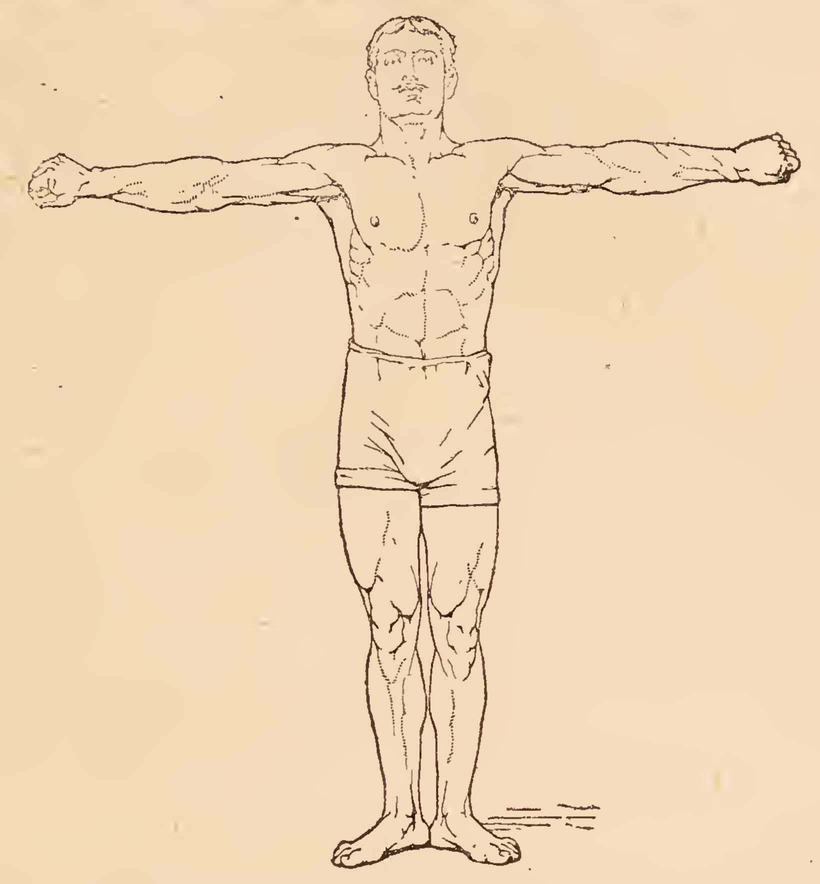


Fig. 63. — Rotation des bras en dedans, bras horizontaux.

L'abduction de la cuisse en avant ou la flexion peut facile-

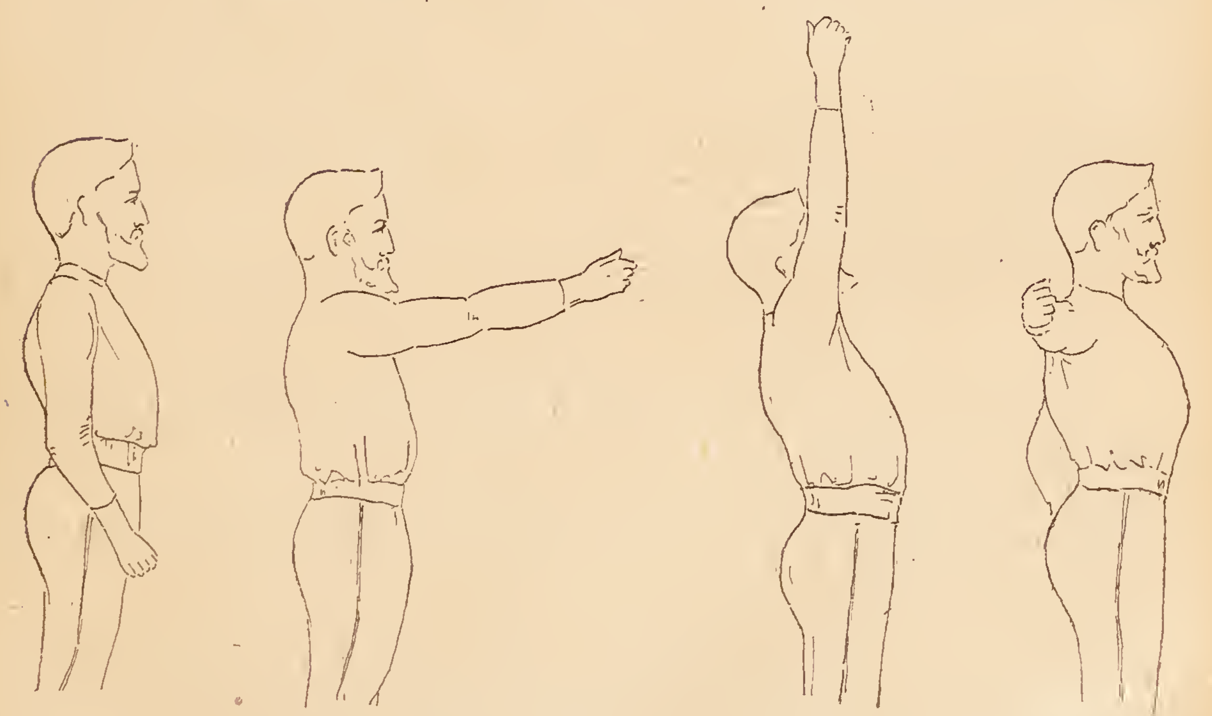


Fig. 64. — Attitudes successives du bras dans une circumduction.

ment atteindre 180°; elle n'est limitée que par la rencontre de la

cuisse avec l'abdomen. Dans ce mouvement, il est très difficile d'éviter la flexion des jambes ; l'attache des muscles fléchis-

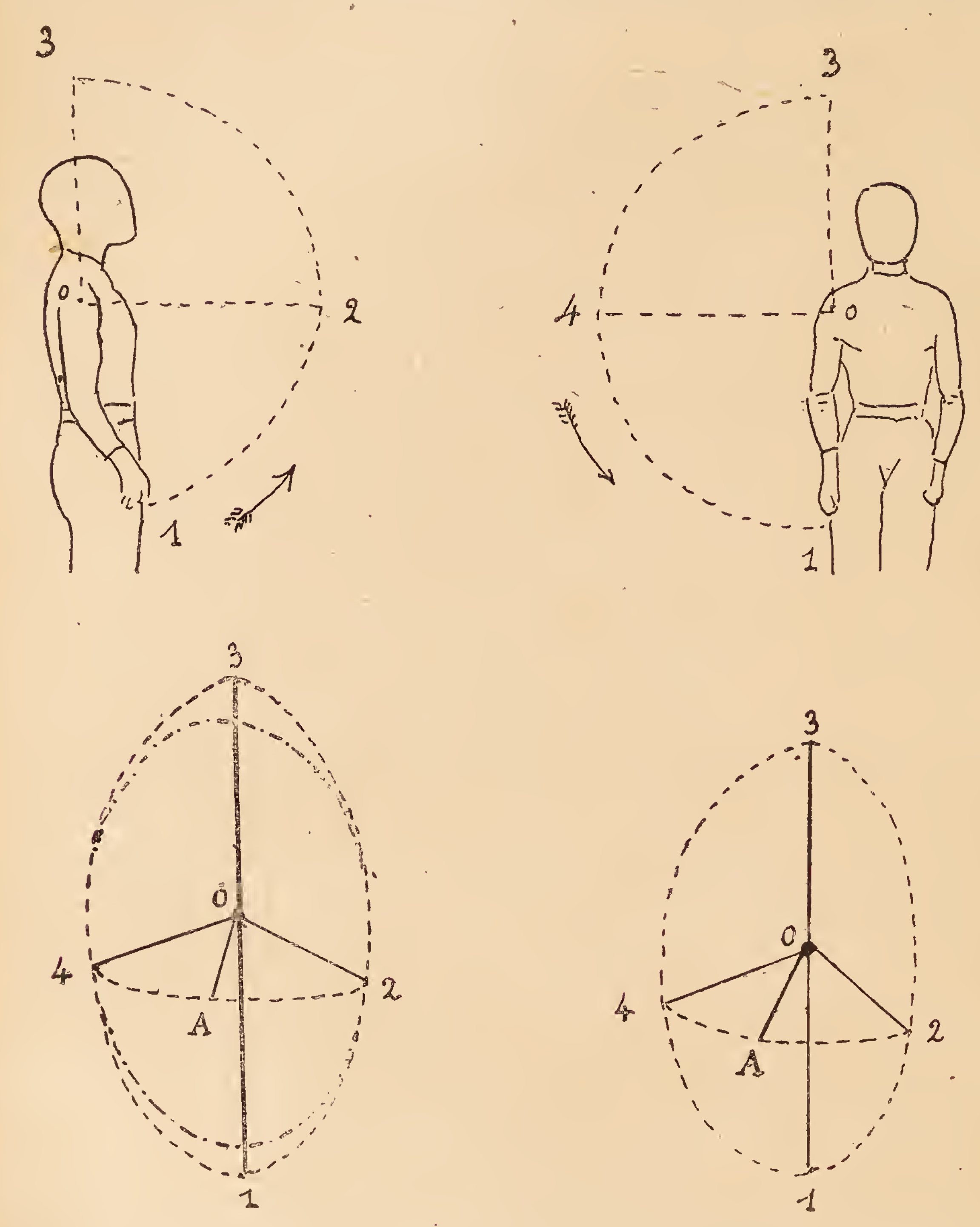


Fig. 65. — Décomposition du mouvement de circumduction du bras en deux arcs de cercle situés dans un plan antéro-postérieur 1, 2, 3, et un plan transversal 3, 4, 1.

OA, direction de l'axe du cône décrit par le bras (La figure 4 indique la courbe décrite par la main lorsque la circumduction est rapide).

seurs de la jambe est au bassin, ceux-ci ont le double rôle de fléchisseurs de la jambe et d'extenseurs de la cuisse, ils sont donc fortement distendus dans la flexion de la cuisse sur le tronc et c'est pour les soulager que se produit la flexion de la jambe (fig. 76).

On sait quel tiraillement insupportable on ressent dans la

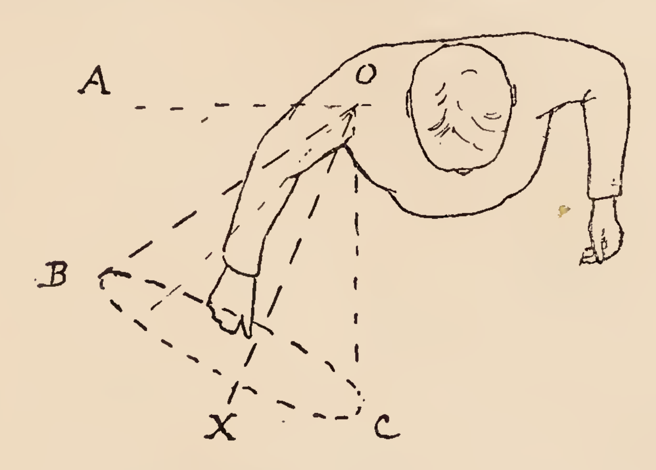


Fig. 66. — Cône décrit par le bras dans une circumduction rapide.
OX, axe du cône ; BC, arc décrit par la main située en avant du plan transversal AO.

région du genou étant assis les jambes étendues sur un sol



Fig. 67. — Abduction latérale de la cuisse.

Fig. 68. — Coupe de l'articulation de la hanche.
F, fémur ; B, os iliaque. (On voit le ligament rond qui réunit la tête du fémur à l'os coxal.)

absolument plat ou debout les jambes tendues lorsqu'on fléchit le tronc en avant (fig. 75).

L'abduction de la cuisse en arrière est à peu près nulle ; elle

est limitée par la tension de la partie antérieure de la capsule articulaire très forte en cet endroit et appelée ligament de Bertin (fig. 77 et 78).

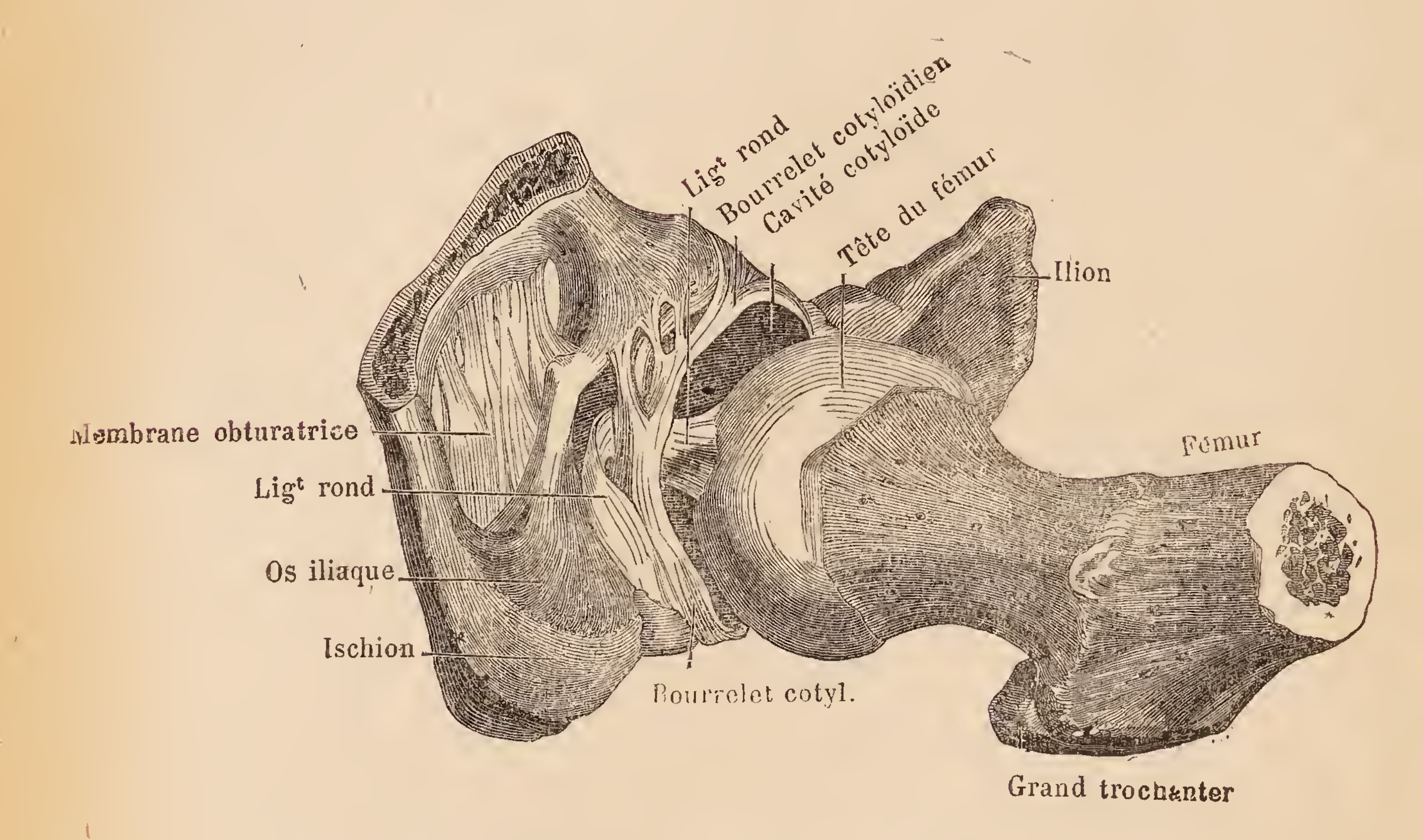


Fig. 69. — Articulation coxo-fémorale ouverte (Debierre).

Si le mouvement est plus étendu il se passe alors dans le bassin et dans la région lombaire de la colonne vertébrale, tels les mouvements du tronc dits courbes raidies, usités dans la gymnastique suédoise.

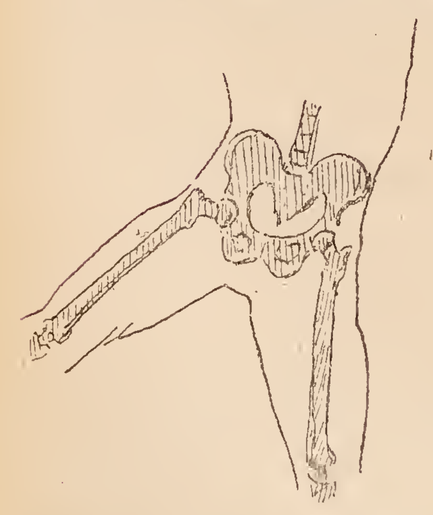


Fig. 70. — Abduction latérale de la cuisse, limite naturelle.

L'abduction de la cuisse est environ de 45° ; elle est limitée par le ligament rond inter-articulaire et la rencontre des masses charnues des deux cuisses; elle peut se faire en avant et en arrière du corps (fig. 68 et 79).

La rotation du fémur embrasse plus de 90° d'étendue, il ne faut pas la confondre avec les mouvements du pied qui se passent surtout dans la cheville et même dans le genou quand il est fléchi. La circumduction du fémur est pénible, le cône décrit une

petite ouverture, son axe est dirigé obliquement en bas et en avant (fig. 80 et 81).

Mouvements de l'avant-bras. — Le coude permet la flexion de

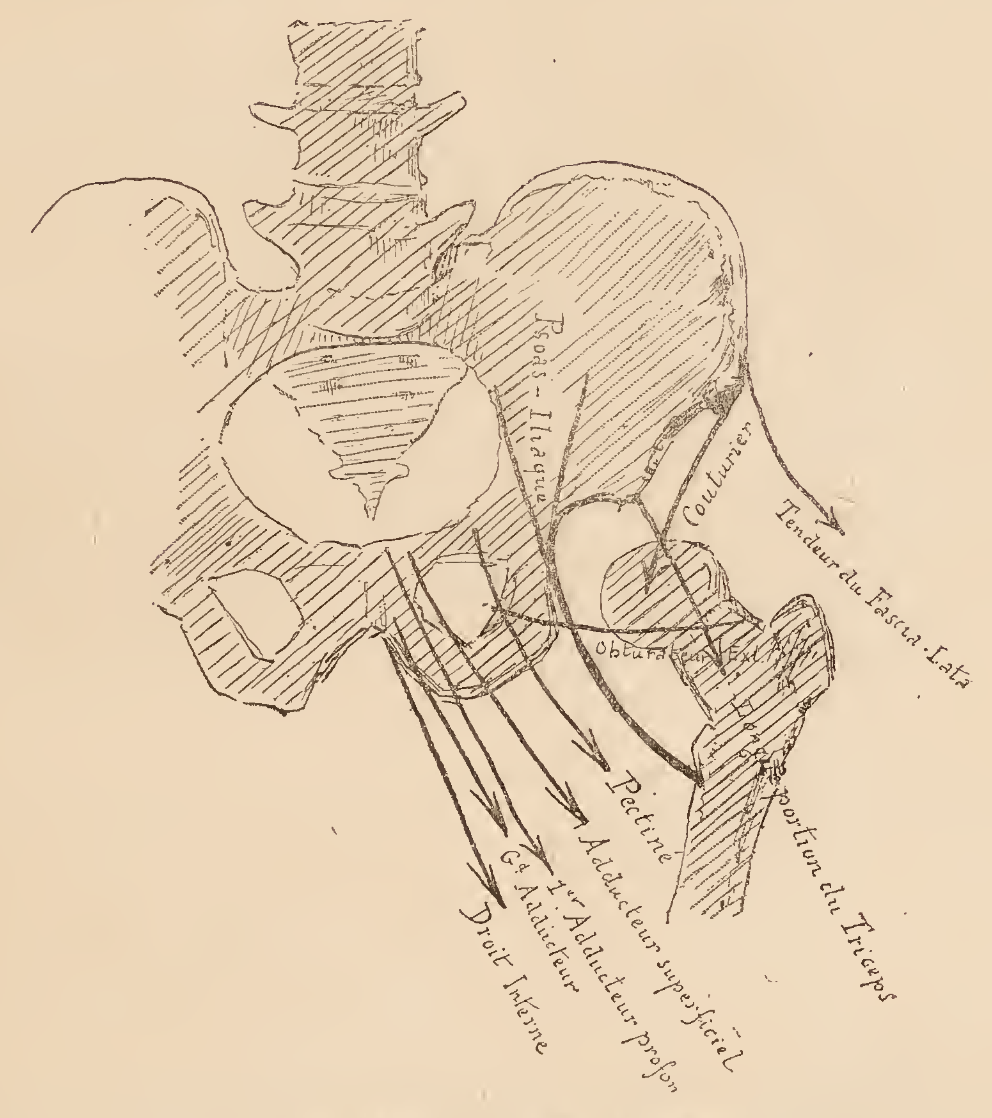


Fig. 71. — Action et nom des principaux muscles reliant la cuisse au tronc (partie antérieure).

l'avant-bras dans un plan bien défini grâce à la forme de l'articulation huméro-cubitale. La limite à la flexion de l'avant-bras est la rencontre de celui-ci avec la saillie du biceps. La limite à l'extension est la rencontre de l'humérus avec l'olécrâne dans la cavité olécranienne et la résistance des ligaments. On voit souvent se produire la luxation de cette articulation dans une chute sur la main le bras étendu (fig. 82, 83, 84, 85 et 86).

Le mouvement de rotation de l'avant-bras appelé pronation permet de tourner la face palmaire de la main vers le bas pour

saisir un objet ou de tendre la main la face palmaire en haut en supination (fig. 87 et 88).

Ces deux mouvements se passent entre le radius et le cubitus. Le radius tourne autour du cubitus, l'axe de rotation passe par

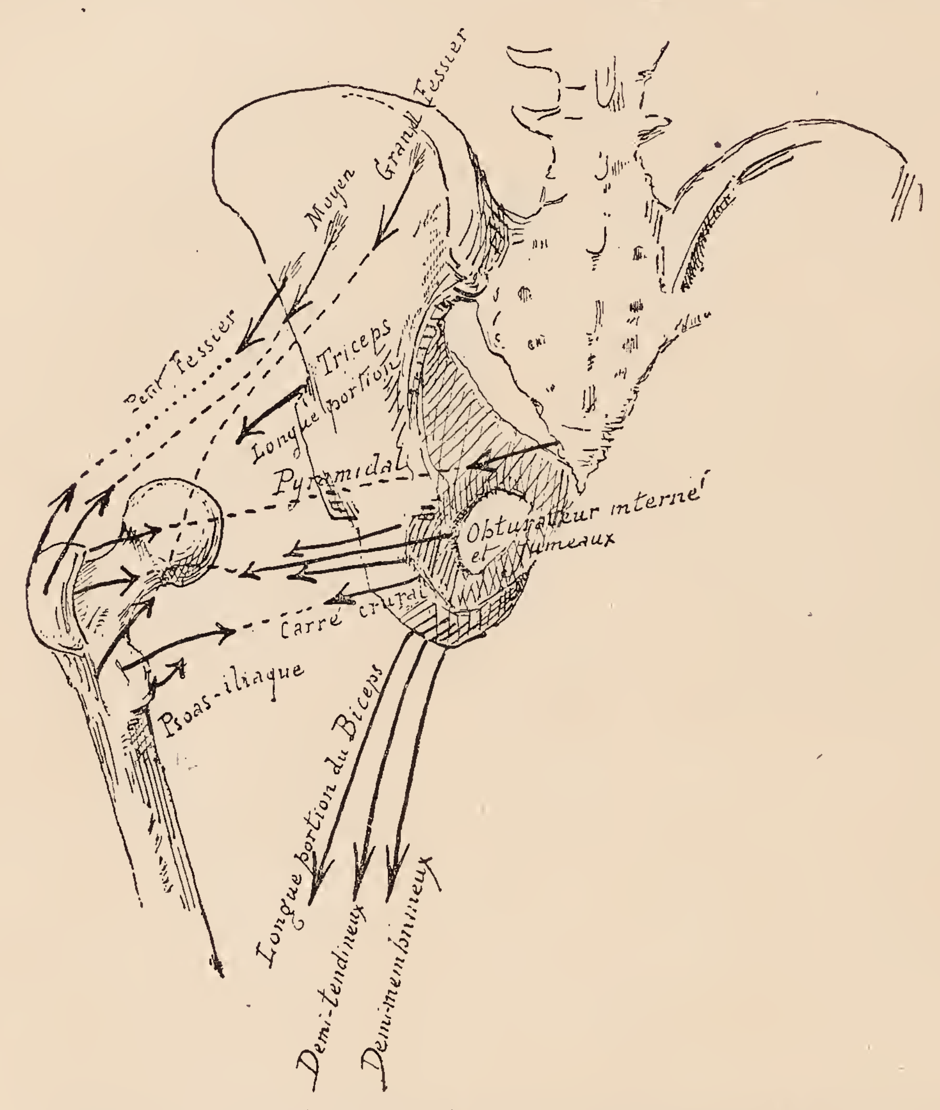


Fig. 72. — Action et nom des principaux muscles qui relient le fémur au bassin (région postérieure).

le doigt médius et à peu près le milieu du coude. La tête du radius et son articulation humérale (fig. 90) en forme de pivot permettent cette rotation. La rotation s'explique par de petits mouvements de latéralité du cubitus, possibles malgré l'emboîtement réciproque des surfaces articulaires et associés à la flexion et à l'extension.

Les mouvements du radius et du cubitus sont solidaires ; la pronation est limitée par le croisement des deux os ; la supination par la tension des ligaments interosseux et annulaire du radius. Les muscles servent comme dans les autres articulations de ligaments actifs.

Les muscles de la pronation et de la supination ont un rôle complexe.

Le biceps brachial est fléchisseur supinateur. Le long supinateur est un fléchisseur pronateur. Le court supinateur et le carré pronateur sont supinateur et fléchisseur indépendants.

Fig. 73. — Battement classique de la jambe dans la danse chorégraphique montrant l'abduction exagérée de la cuisse.

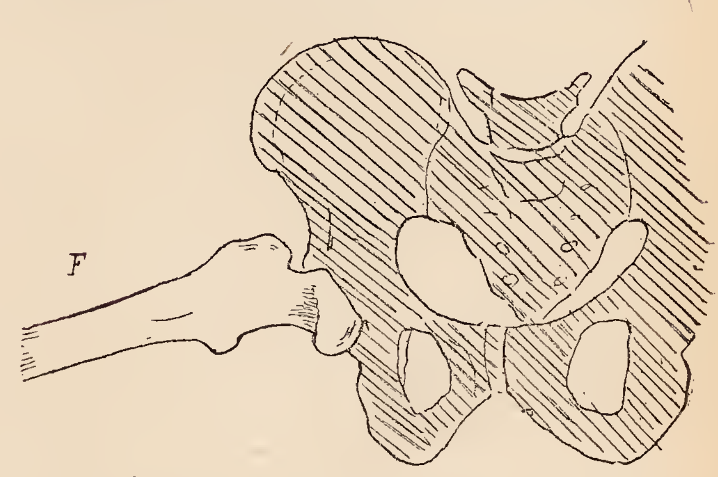


Fig. 74. — Position de la tête du fémur dans l'abduction latérale de la cuisse jusqu'à la position horizontale.

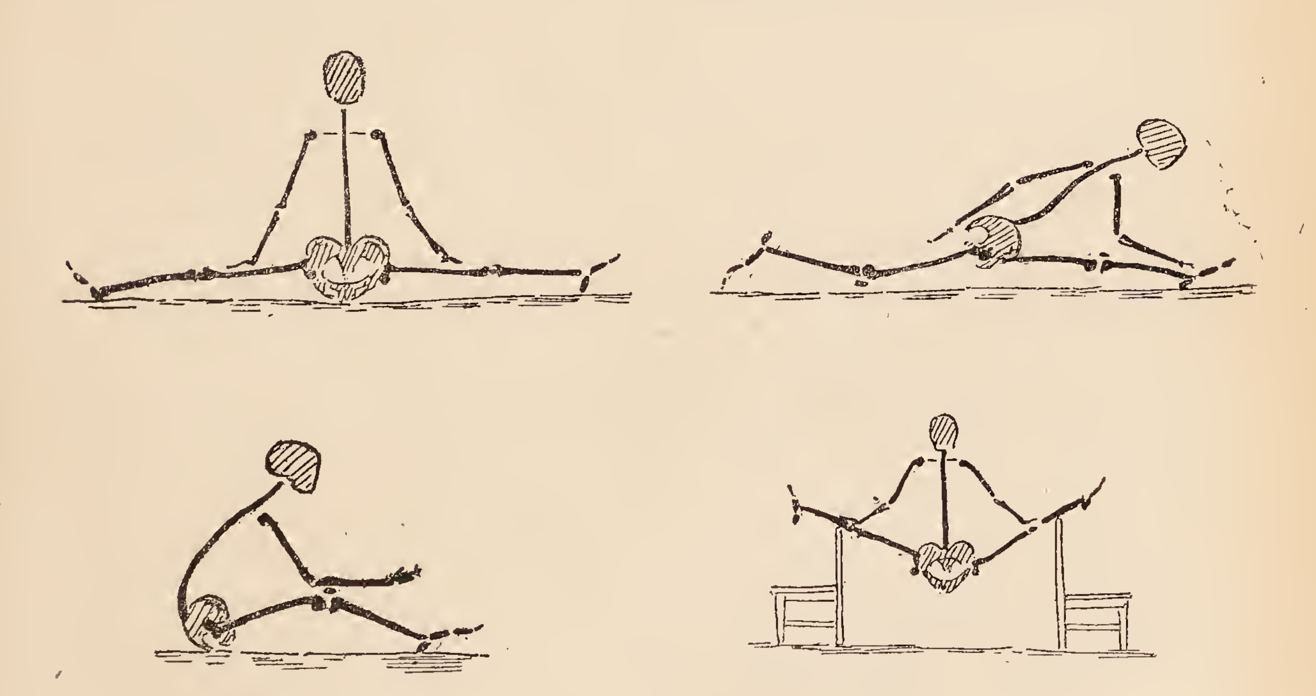


Fig. 75. — Grand écart vrai ; — grand écart simulé ; — station sur les ischions les jambes étendues ; — et station sur deux chaises avec dislocation de l'articulation de la hanche.

L'insertion du biceps est particulière, son tendon s'enroule



Fig. 76. — Flexion de la cuisse sur le bassin.



Fig. 77. — Extension de la cuisse sur le bassin.

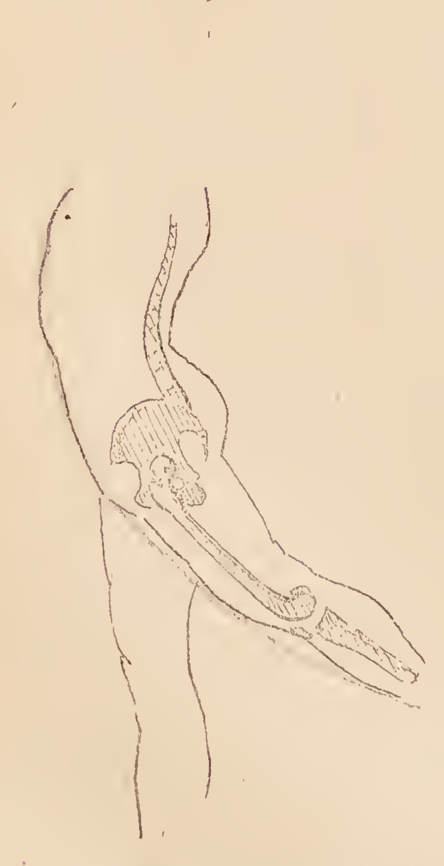


Fig. 78. — Abduction en arrière de la cuisse limite naturelle.

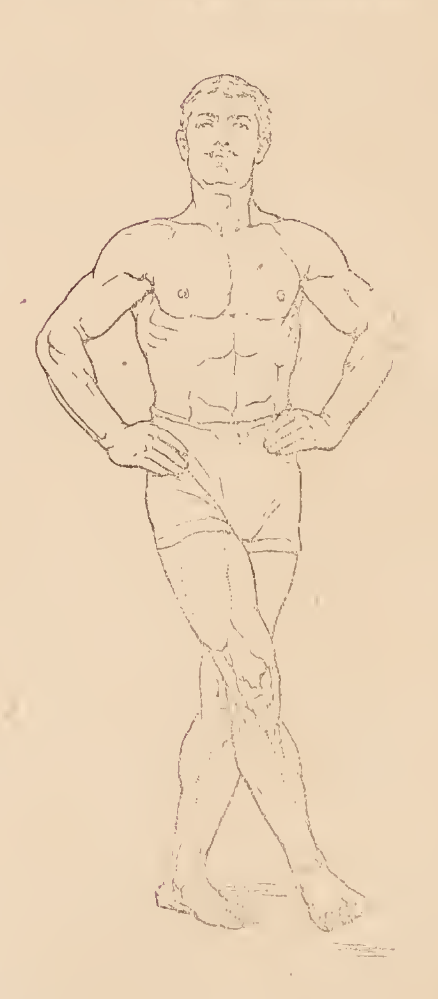


Fig. 79. — Adduction de la cuisse.

autour du radius, son action est d'abord un effet de supination

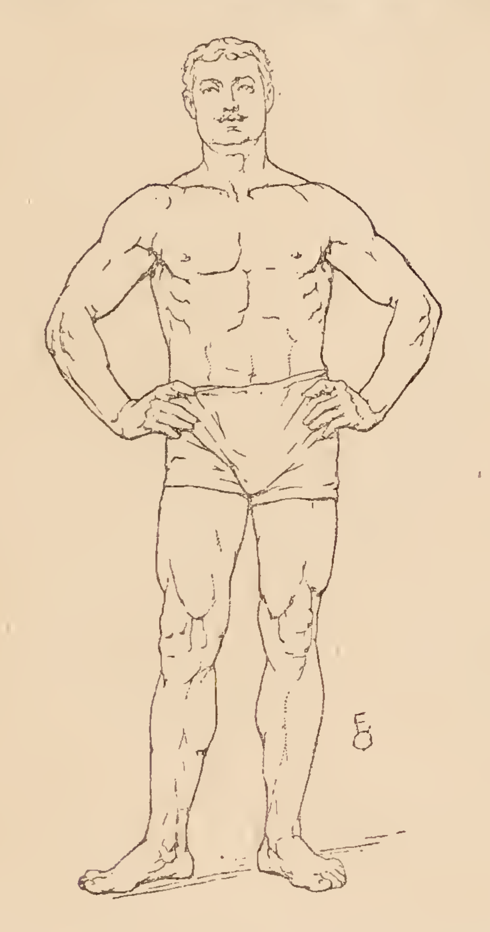


Fig. 80. — Rotation de la cuisse en dehors.

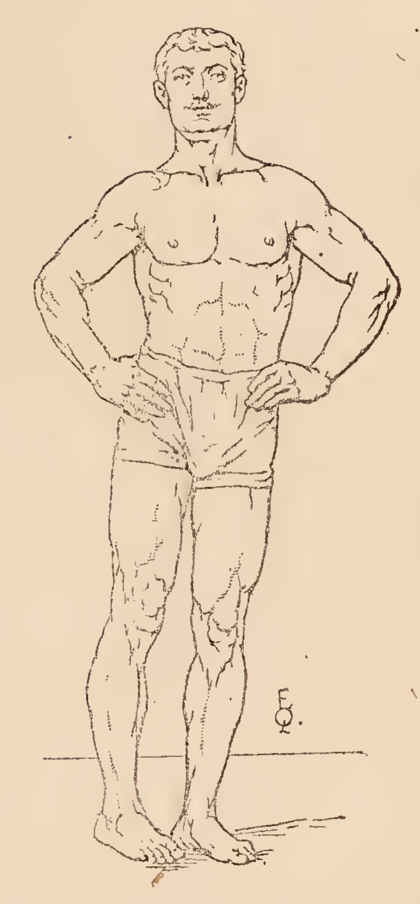


Fig. 81. — Rotation du fémur en dedans.

avant de commencer à produire la flexion. Le déroulement du



Fig. 82.—Flexion de l'avant-bras sur le bras.

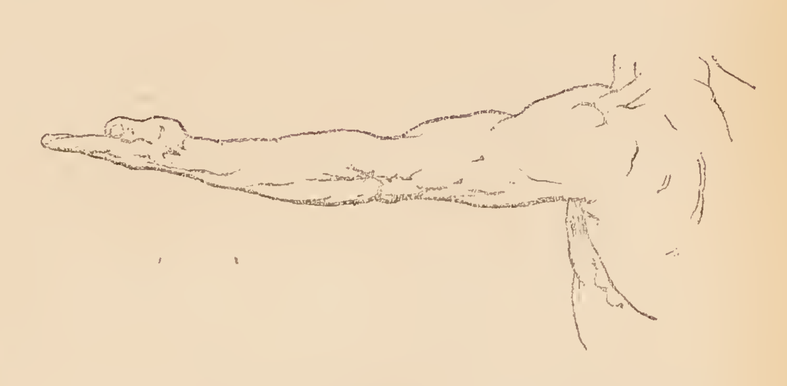


Fig. 83. — Extension de l'avant-bras, la main en pronation.

tendon doit être complet pour que le biceps puisse produire directement la flexion de l'avant-bras.

Pour cette raison, la flexion de l'avant-bras, la main chargée

d'un haltère ou le corps suspendu par les mains se fait bien plus facilement en supination qu'en pronation.

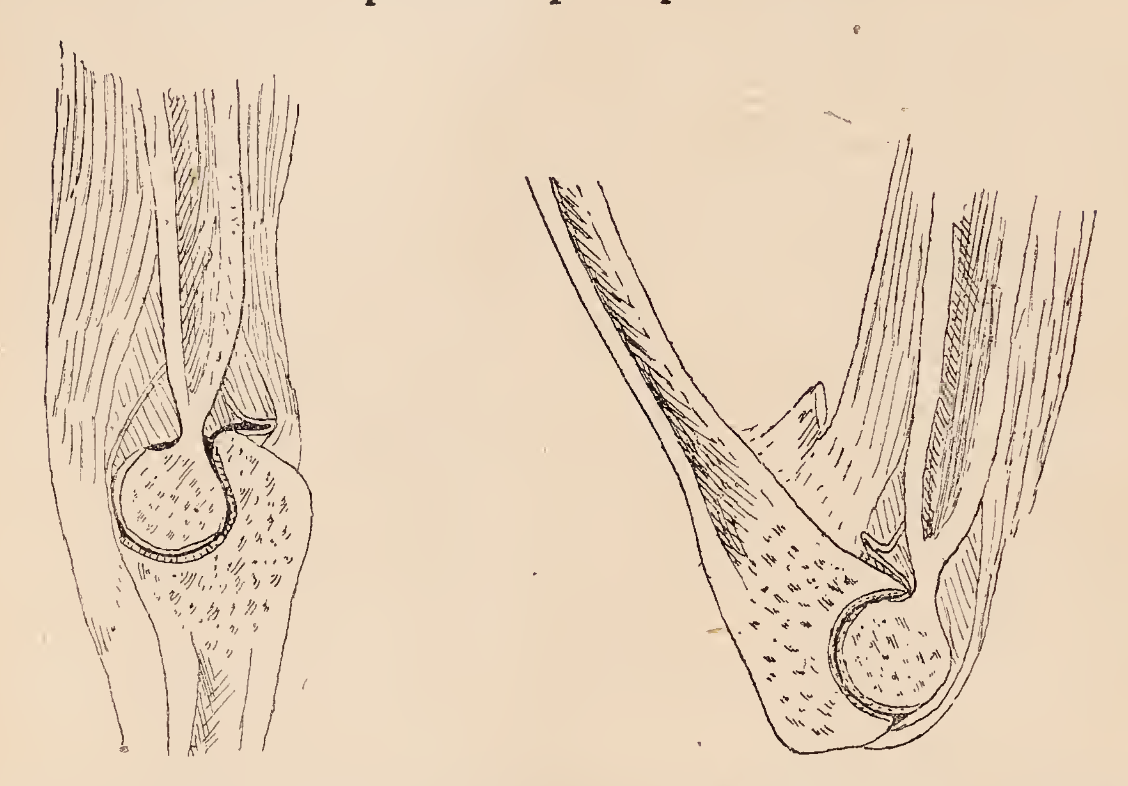


Fig. 84. — Coupes de l'articulation du coude dans l'extension et dans la flexion (CRUVEILHIER).

Dans l'acte de visser ou de dévisser, les rotateurs du bras



Fig. 85.— Mêmes coupes dépourvues des muscles et montrant les limites du mouvement.

entrent en jeu : rotateurs en dehors pour visser, rotateurs en dedans pour dévisser. Dans les mouvements énergiques, l'avant-

bras est maintenu fléchi et l'effort des adducteurs et abducteurs

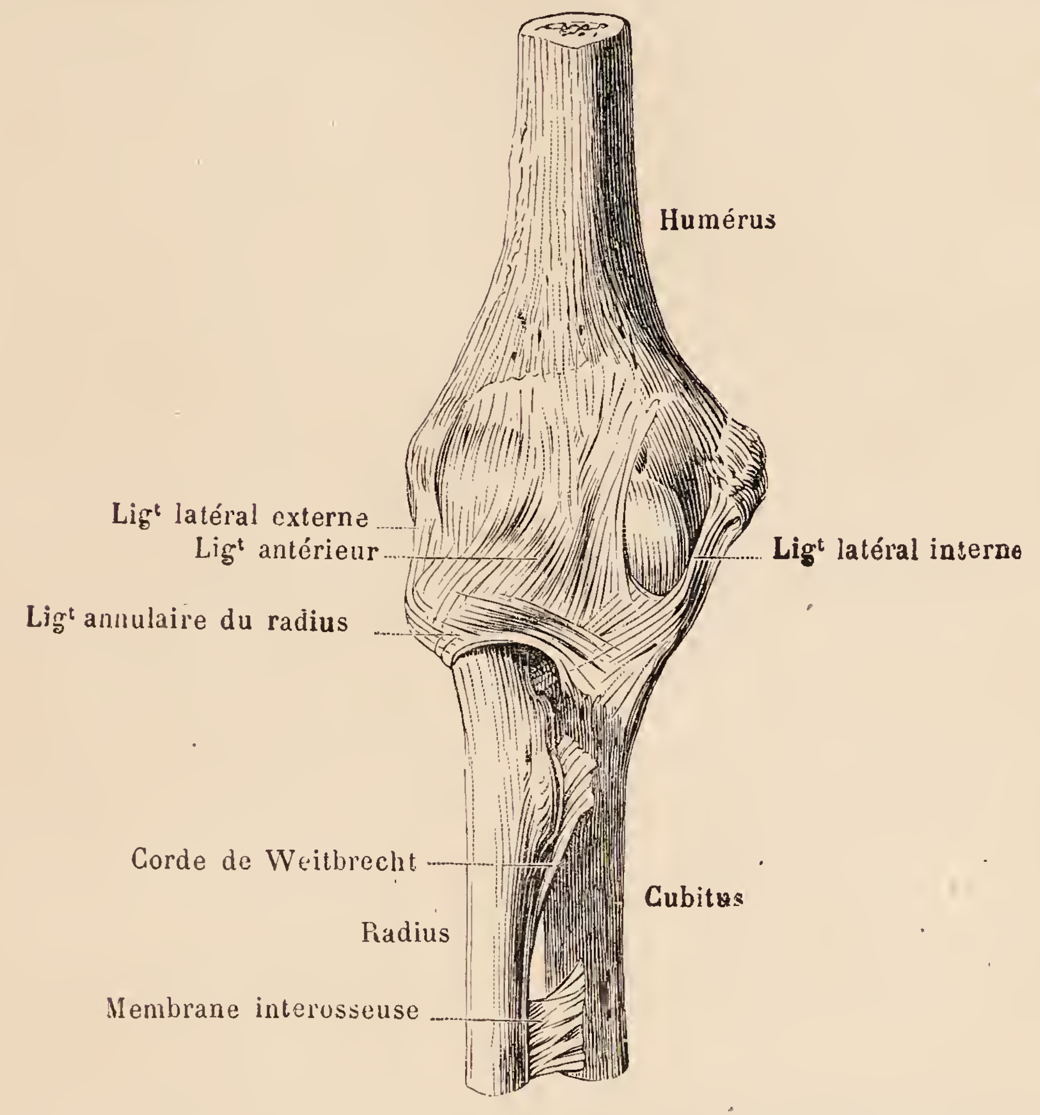


Fig. 86. — Ligaments de l'articulation du coude. Vue antérieure (Debierre).

du bras s'ajoute à l'énergie du mouvement de pronation et de supination.



Fig. 87. — Mouvement de pronation de l'avant-bras.

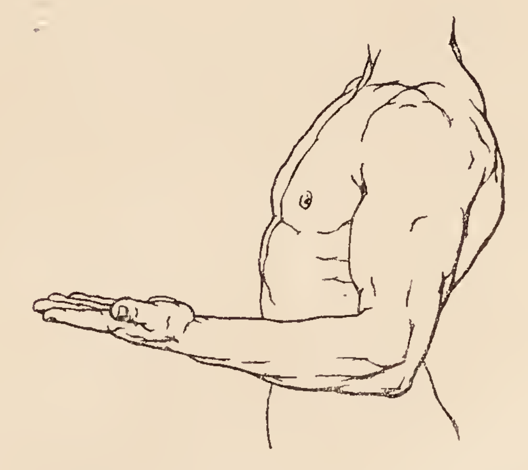


Fig. 88. — Mouvement de supination de l'avant-bras.

Mouvements du genou. — Les mouvements du genou sont

moins précis que les mouvements du coude. Il n'y a pas emboîtement aussi parfait des surfaces articulaires. Les condyles du fémur reposent sur les cartilages semi-lunaires du tibia et rou-

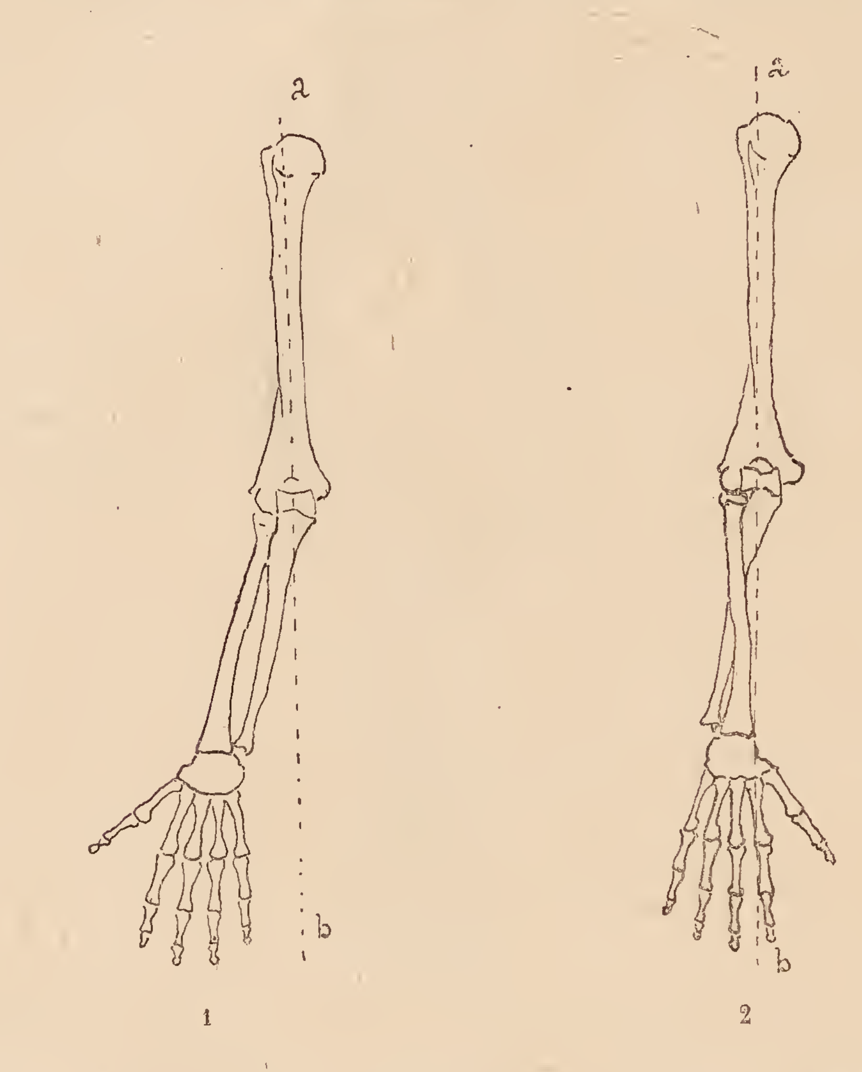


Fig. 89. — Mouvement de pronation et de supination (Math. Duval).

1, supination; — 2, pronation. — Le mouvement s'exécute autour de l'axe *ab*. On voit le croisement du radius et du cubitus dans la pronation.

lent sur eux dans le mouvement de flexion. L'articulation n'est pas fermée; le vide énorme produit dans la flexion en avant est comblé par la rotule, os isolé développé dans le tendon des extenseurs et restant toujours à distance fixe du tibia (fig. 91 et 92). La flexion est limitée par la tension des ligaments croisés intérieurs à l'articulation et par la rencontre de la partie charnue du mollet avec la cuisse. Dans une chute sur les pieds, si la flexion du genou est complète, le choc tend à déchirer le genou et le mollet remplit l'office de point d'appui du levier. Il faut résister ferme avec les muscles pour éviter des accidents. Le genou est toujours une articulation délicate, la moindre blessure y prend immédiatement un caractère de gravité. Toujours

surmené pendant la vie, il finit par refuser son service, c'est par le genou que finissent la plupart des acrobates, sauteurs, coureurs et vélocipédistes (fig. 93, 94 et 136).

L'emboîtement imparfait des surfaces articulaires du genou permet dans la flexion un déplacement du tibia sur les condyles

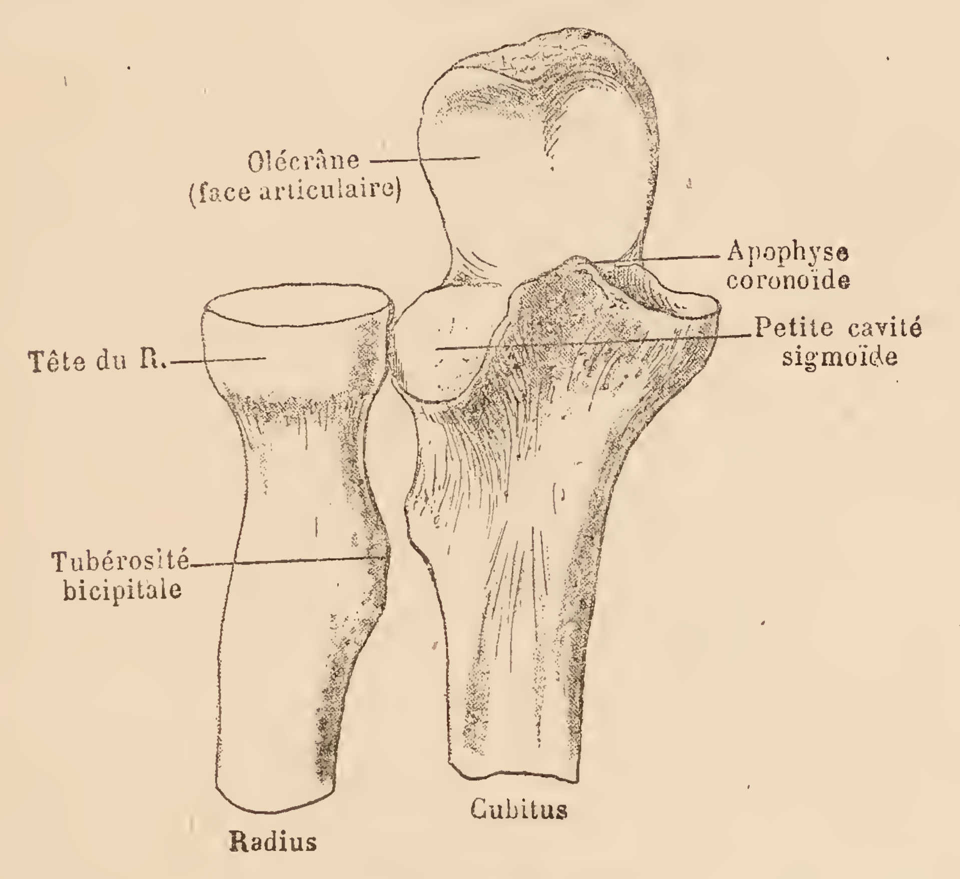


Fig. 90. — Surfaces articulaires du coude. Têtes du radius et du cubitus.

du fémur dans le genre de la pronation et de la supination, mais beaucoup plus vague et surtout plus réduit. Ces mouvements limités par les ligaments latéraux se passent exclusivement entre le fémur et le tibia ; le péroné n'a rien à y voir.

L'extension de la jambe est limitée au prolongement du fémur par la tension des ligaments. Le condyle du fémur a une forme en spirale et les ligaments externes s'insèrent en un point situé de telle sorte que pendant l'extension la distance entre les insertions des ligaments augmente. Ces ligaments se tendent et limitent le mouvement (fig. 95 et 96). Les muscles fléchisseurs ajoutent leur action pour soulager les ligaments.

Mouvements du poignet. — L'articulation du poignet permet tous les mouvements de flexion, d'extension, de circumduction ; le mouvement de rotation lui est étranger, il provient de la

pronation et de la supination de l'avant-bras (fig. 97, 98 et 99).

Au poignet le radius s'articule avec le carpe ; au coude, au

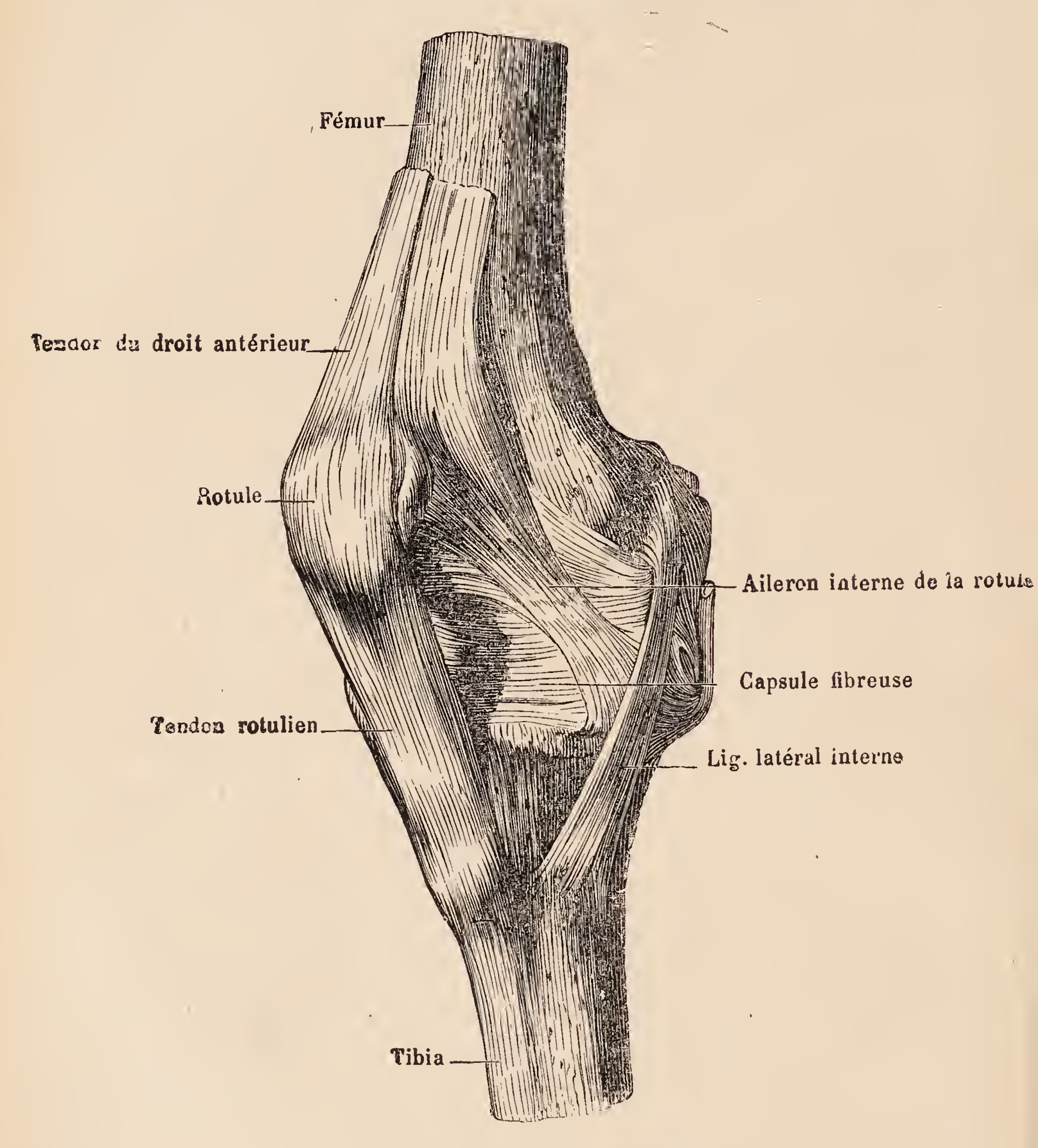


Fig. 91. — Articulation du genou avec ses ligaments.

contraire, le cubitus forme la plus grande partie de la charnière. La limite des mouvements est peu déterminée, aussi voit-on des personnes avoir une très grande amplitude dans les mouvements du poignet, toucher par exemple l'avant-bras avec les doigts en avant ou en arrière. Le poignet est encore une articulation fragile qu'il faut ménager ; une luxation lui enlève

toute sa solidité et toute sa souplesse. Une disposition fort remarquable permet aux doigts de se mouvoir dans toutes les positions du poignet.

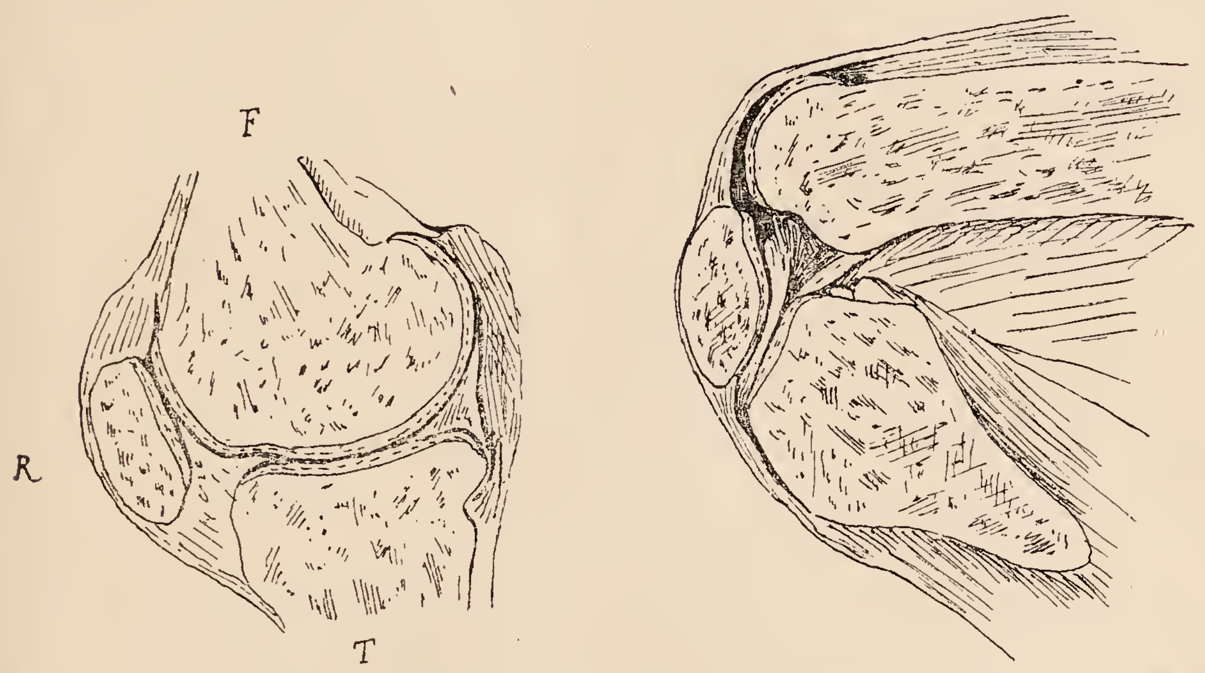


Fig. 92. — Coupe de l'articulation du genou dans l'extension et dans la flexion.

F, fémur; — T, tibia; — R, rotule.

Le ligament annulaire du carpe réunit les tendons des fléchisseurs du côté palmaire, ceux des extenseurs du côté dorsal de



Fig. 93. — Coupe de l'articulation du genou dans l'extension et la flexion, montrant la tension des ligaments croisés limitant le mouvement.

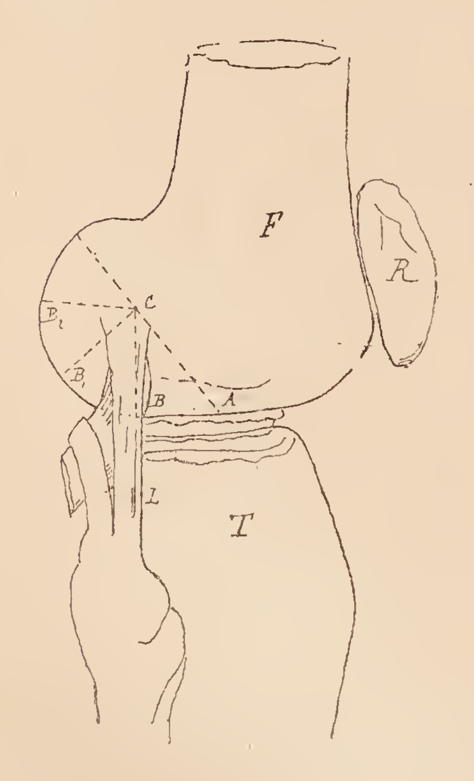
la main et les empêche de s'écarter des os pendant les mouvements du poignet.



Fig. 94. — Flexion de la jambe sur la cuisse.



Fig. 95. — Extension de la jambe sur la cuisse.



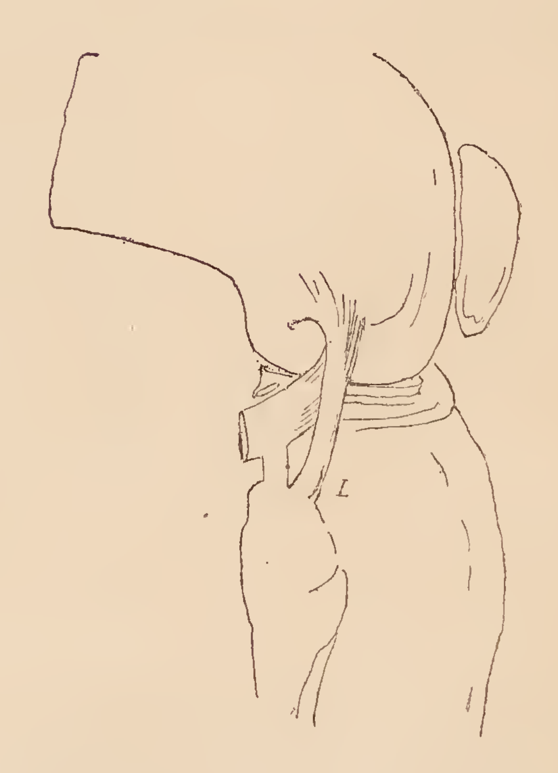


Fig. 96. — Mécanisme de la flexion du genou (d'après les frères Weber).

L, Ligament relâché dans la flexion et tendu dans l'extension parce que le point d'attache C au fémur F tend à s'éloigner, les rayons CB_2, CB_1, CB, CA augmentant à cause de la forme des condyles du fémur, ce qui limite l'extension. — T, tibia; R, rotule.

Mouvements de la cheville du pied. — A la cheville du pied



Fig. 97. — Flexion de la main. Fig. 98. — Extension de la main.

les mouvements de flexion et d'extension sont fort étendus,



Fig. 99. — Mouvement latéral de la main.

l'articulation ne permet que des mouvements confus de latéra-





Fig. 100. — Flexion du pied. Fig. 101. — Extension du pied.

lité. Des ligaments solides et la forme des surfaces articulaires limitent le mouvement (fig. 100, 101, 102 et 103).

La poulie astragalienne présente une forme extrêmement

remarquable. Le pied peut exécuter un mouvement de circumduction grâce à la rotation du fémur. Le pied et la main ont des mouvements comparables entre eux; il est curieux de remarquer que les mouvements analogues portent des noms différents; la flexion du pied est l'analogue de l'extension de la main et la flexion de la main correspond à l'extension du died, ceci dit pour éviter la confusion (fig. 104 et 105).

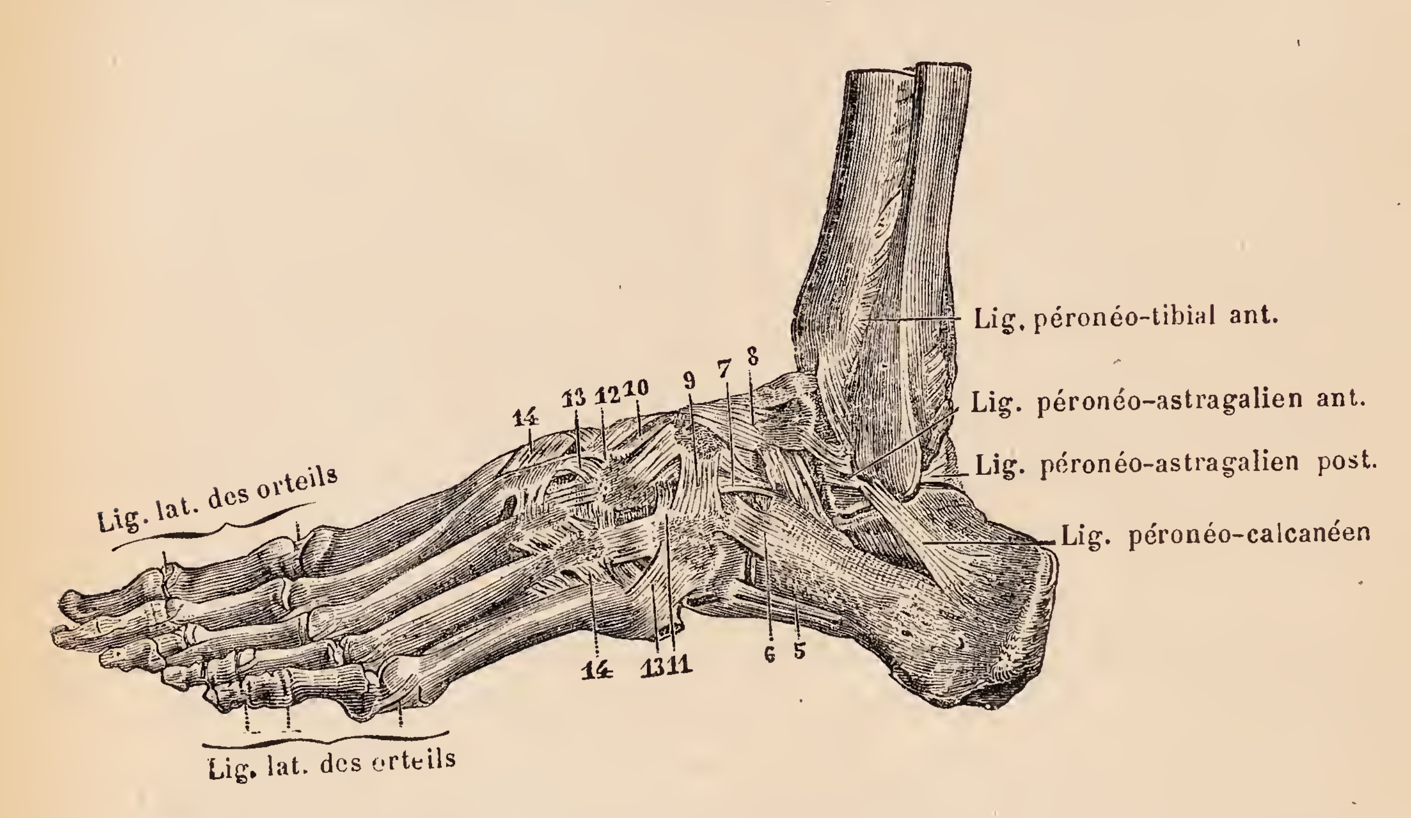


Fig. 102. — Ligaments des articulations du pied. Vue de la face dorso-externe du pied (DEBIERRE).

5, ligament calcanéo-cuboïdien plantaire; — 6, ligament calcanéo-cuboïdien dorsal; — 7, ligament scaphoïdien; — 8, ligament astragalo-scaphoïdien; — 9, ligament cuboïdo-scaphoïdien dorsal; — 10, ligament cunéo-scaphoïdien; — 11, ligament cunéo-cuboïdien; — 12, ligaments cunéens; — 13, ligaments tarso-métatarsiens; — 14, ligaments transverses intermétatarsiens.

MOUVEMENTS DES DOIGTS. — La main mérite une étude en rap port avec l'importance de sa fonction; les mouvements des doigts sont un exemple de synergie musculaire assez complexe (fig. 106, 107 et 108).

Les fléchisseurs superficiel et profond des doigts offrent une disposition anatomique remarquable : le tendon du fléchisseur profond traverse celui du fléchisseur superficiel et devenu à son tour superficiel, vient s'insérer à la troisième phalange. La fonction de ces fléchisseurs est de fléchir les deux dernières phalanges, d'étendre la première et de fléchir la main. Seuls ils donneraient à celle-ci la forme d'une griffe plutôt gênante

qu'utile (fig. 109 et 110). Mais d'autres petits muscles situés dans

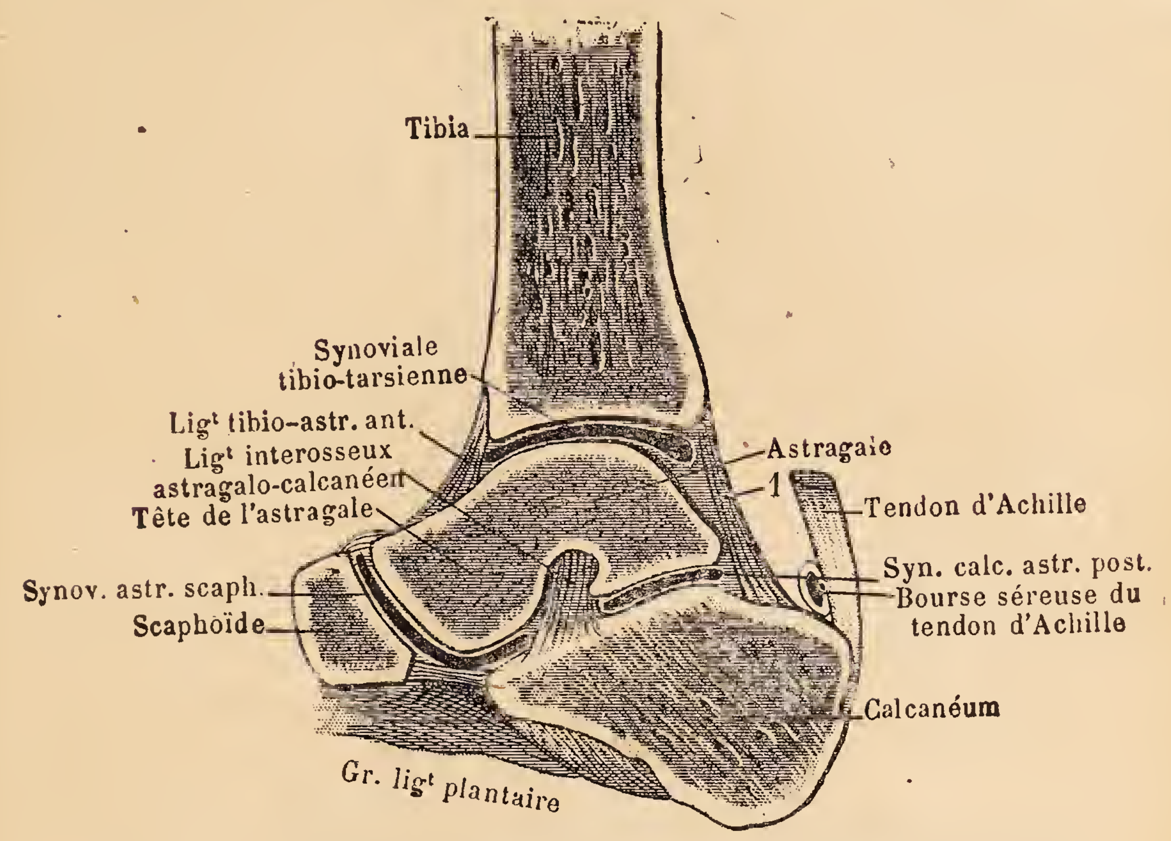


Fig. 103. — Coupe de l'articulation de la cheville du pied.

l'intérieur du métacarpe interviennent pour régulariser le mou-

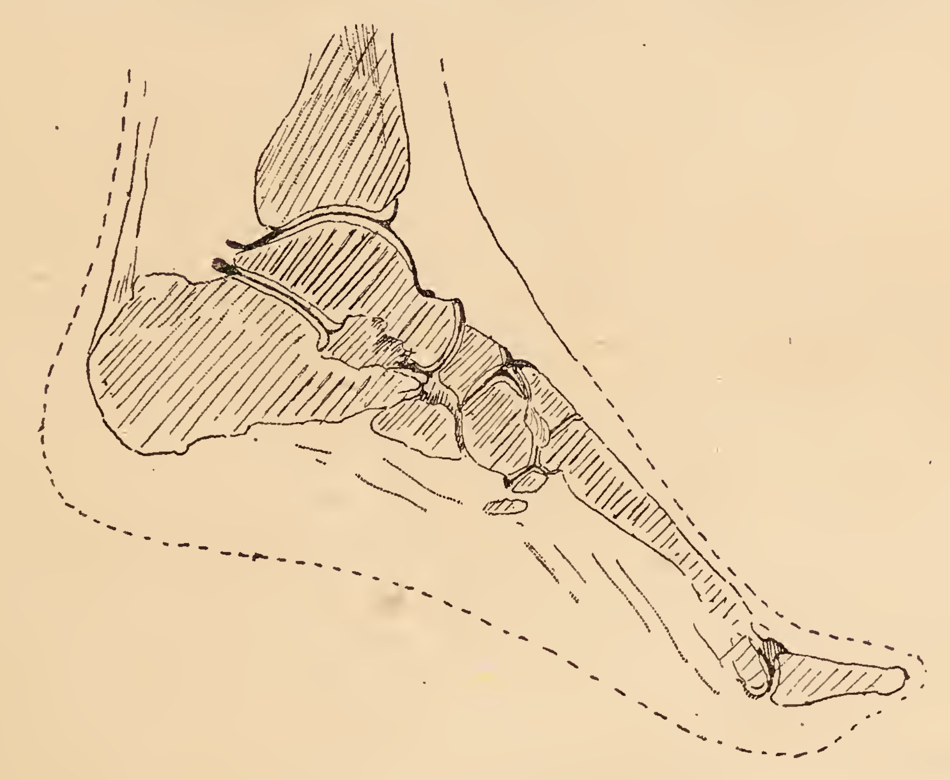


Fig. 104. — Extension du pied.

Coupe de l'articulation tibio-tarsienne montrant les rapports des surfaces articulaires et des os.

vement des doigts. La flexion de la première phalange est

exécutée par les interosseux. Ceux-ci sont doubles pour chaque espace interosseux, l'un occupe la région dorsale, l'autre la région palmaire de la main. S'insérant aux métacarpiens et aux premières phalanges, ils produisent la flexion de ces dernières, leur adduction et abduction par rapport au doigt médius et l'extension des deux dernières phalanges (fig. 111 et 112).



Fig. 105.— Coupe de l'articulation tibio-tarsienne dans la flexion du pied.

Les lombricaux joignent les tendons des fléchisseurs profonds à ceux des interosseux et ajoutent leur action dans le même sens.

La flexion directe des doigts ne peut donc se faire sans le



Fig. 106.— Flexion des doigts.



Fig. 107. — Extension des doigts.

concours des fléchisseurs superficiel et profond agissant sur les deux dernières phalanges aidés des interosseux et lombricaux fléchissant la première phalange et des extenseurs de la main s'opposant au mouvement de flexion (fig. 110).

De même, l'extension directe des doigts se fait par le concours de l'extenseur commun et extenseur propre qui étendent la première phalange, et celui des interosseux et lombricaux qui étendent les deux dernières phalanges. Les fléchisseurs de la main s'opposent à l'extension du poignet tendant à se produire.

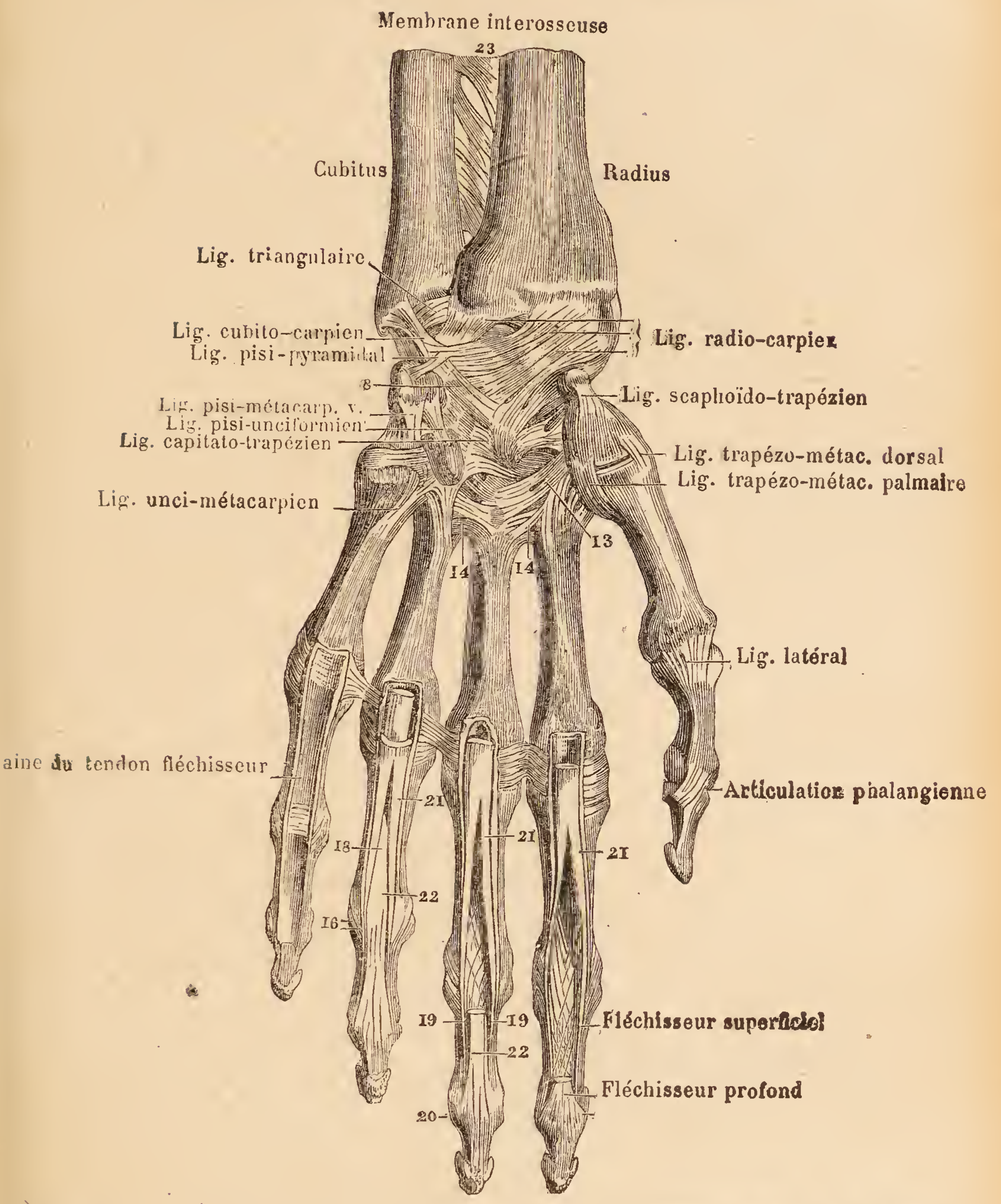


Fig. 108. — Ligament des articulations radio carpiennes, des os du carpe entre eux, des os du carpe avec les os du métacarpe et de ces derniers entre eux et avec les phalanges des doigts. Vue de la face palmaire de la main (DEBIERRE).

8, ligament cubito-pisiformien ; — 13, ligament trapézo-métacarpien III ; — 14, ligaments intermétacarpiens ; — 16, ligament latéral des articulations phalangiennes ; — 18, 22, tendon du long fléchisseur profond des doigts ; — 21, tendon du fléchisseur commun des doigts.

Les fléchisseurs des doigts à force de se raccourcir finissent par produire la rétraction de l'aponévrose palmaire et la flexion

permanente des articles. Il faut faire un effort pour conserver les doigts étendus, dans les mouvements gymnastiques il sera

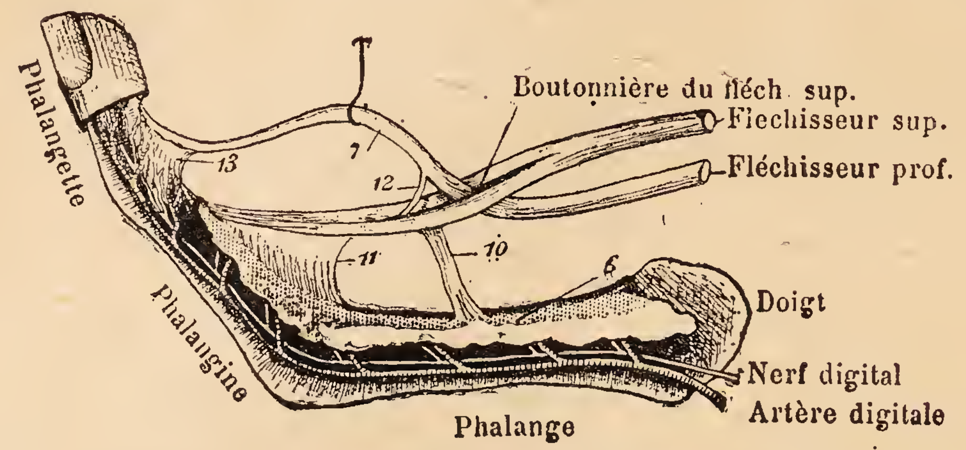


Fig. 109 — Vue latérale des tendons des muscles fléchisseurs des doigts (DEBIERRE).

6, gaine tendineuse fendue et rabattue sur le côté ; — 10, freins latéraux du tendon fléchisseur superficiel ; — 11, frein médian du même tendon ; — 12, 13, freins du tendon fléchisseur profond.

bon de remédier à cette difformité en étendant fortement les phalanges.



Fig. 110. — Main présentant la forme de griffe à cause de l'atrophie des interosseux et lombricaux (DUCHENNE DE BOULOGNE).

Tous les doigts de la main, particulièrement l'index ont des mouvements indépendants, l'annulaire et le petit doigt au contraire sont solidaires, les tendons extenseurs sont unis par une expansion tendineuse (fig. 113).

Cette solidarité fait le désespoir des pianistes et contribue à augmenter singulièrement la difficulté du jeu des instruments de musique en enlevant l'égalité des doigts, qualité si précieuse et si rare du mécanisme.

Il faut une étude spéciale et un travail persévérant pour remédier à ce que cette disposition présente d'inconvénients.

Le pouce est absolument indépendant. Ses long et court extenseur, son long abducteur agissent aussi sur la main ; les muscles de l'éminence thénar, court abducteur, court fléchisseur, adducteur et opposant sont spécialement affectés à ses mouvements.



Fig. 111. — Extension et adduction des doigts.



Fig. 112. — Écartement des doigts.

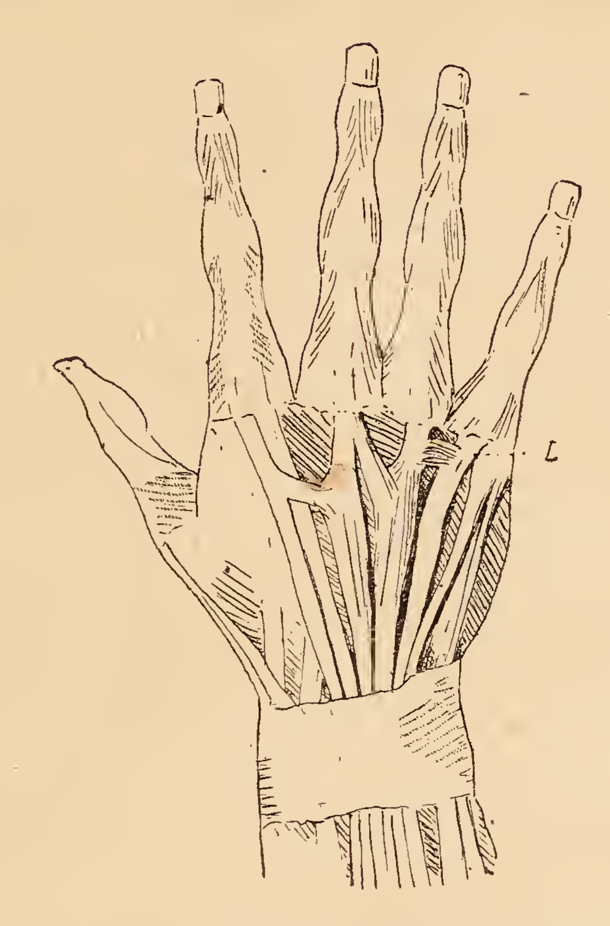


Fig. 113. — Tendons des extenseurs de l'annulaire et du petit doigt réunis par une bandelette aponévrotique L.

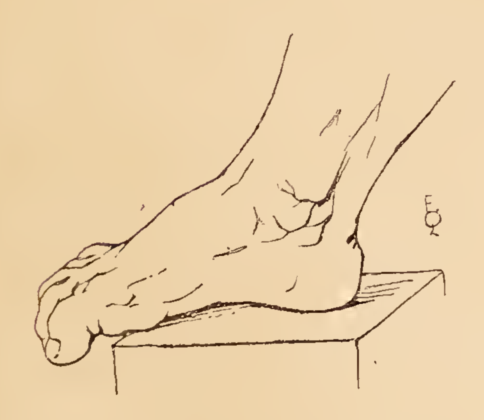


Fig. 114. — Flexion des orteils.

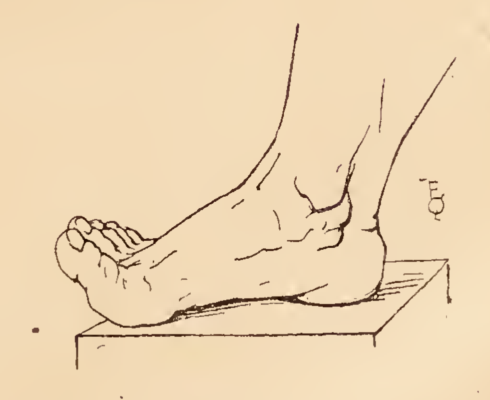


Fig. 115. — Extension des orteils.

Mouvements des orteils. — Les mouvements des orteils diffèrent des mouvements des doigts, ils sont réduits ; la flexion prédomine aux doigts, l'extension aux orteils, les mouvements d'abduction des doigts sont presque nuls. Le pied toujours enfermé dans des chaussures étroites est devenu un simple organe de soutien du corps. Les orteils sont généralement rabougris et atrophiés. Mais chez l'enfant, chez l'homme qui porte des chaussures convenables, des sandales ou qui marche nu-pieds, la mobilité des orteils existe encore (fig. 114 et 115).

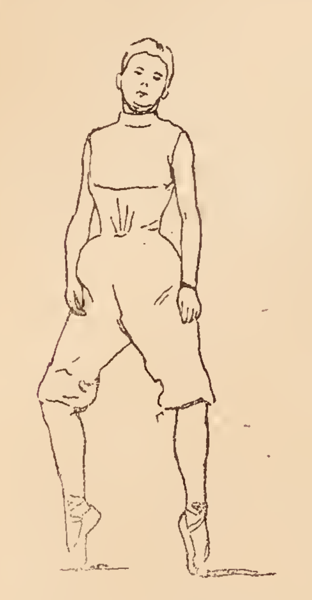


Fig. 116. — Danseuse se tenant en équilibre sur l'extrémité des orteils.

Il est notoire que le pied peut acquérir par l'exercice et des soins une délicatesse comparable à celle de la main. On connaît des artistes peignant avec le pied et des sujets nés manchots se servant du pied pour les usages les plus variés et les plus fins. Les Japonais, certaines peuplades grimpent à une perche en se servant du pouce pour la saisir. Nous voyons encore ici l'influence de l'éducation sur la structure d'un organe.

Les danseuses de nos théâtres s'exercent à se tenir sur la pointe des orteils, c'est là un abus de la fonction. Le pied de ces danseuses est complètement déformé et présente généralement une luxation du gros orteil (fig. 116).

CHAPITRE II

ANALYSE DES ATTITUDES ET DES MOUVEMENTS

§ 1er. — Règles générales d'analyse des mouvements.

Dans toute analyse d'une attitude ou d'un mouvement, il y a un problème de mécanique et une question de physiologie. Le problème de *mécanique* est facile à poser ; il consiste à déterminer les résistances dues à la pesanteur, aux réactions diverses s'exerçant sur le corps à les composer entre elles pour en déduire l'action musculaire et par suite les muscles entrant spécialement en jeu pour équilibrer les premières. Suivant la direction, le sens et la nature du mouvement on se rendra compte de l'antagonisme entre les muscles et les résistances à vaincre. Il faut tenir compte des résistances d'inertie des différentes parties du corps et des masses à mouvoir. Les variations de vitesse mesureront le travail produit. Nous aurons plus loin à considérer cette mesure. Chaque mouvement peut être également étudié au point de vue *physiologique*, c'est-à-dire d'après ses effets sur le corps et au point de vue *pédagogique* ou éducatif, c'est-à-dire d'après les avantages qu'il procure à l'individu. (Essai d'une méthode positive.)

Nous serons obligés de confondre souvent ces études pour être fidèle à notre plan et au but proposé : l'amélioration physique de l'homme. Le nombre des mouvements à analyser est indéfini mais tous ne présentent pas d'intérêt à notre point de vue, ce qui importe, c'est la manière de tirer parti de nos forces après les avoir acquises, de ne pas les gaspiller ou les dépenser de façon à nous nuire soit par excès soit par mauvaise utilisation.

Un muscle ne se contracte jamais seul, il faut dans une

attitude ou un mouvement le concours de synergies musculaires où les muscles spéciaux, directeurs et modérateurs du mouvement, les fixateurs des points fixes ont chacun leur rôle spécial et déterminé. Nous ne reviendrons pas sur ces faits développés précédemment à propos de la coordination [1]. Nous n'avons pas besoin d'une précision bien grande pour établir la part des muscles et des résistances dans l'équilibre et dans le mouvement, ce qui nous suffit presque toujours.

Lois générales du mécanisme des mouvements. — Les mouvements sont d'ailleurs régis par les lois générales de la mécanique dont il faut rappeler les plus importantes.

Loi du moindre effort. — Par l'éducation et par instinct nous trouvons les conditions les plus économiques de l'application de nos efforts, nous réduisons le nombre des contractions musculaire au minimum utile et leur intensité à la valeur de la résistance à vaincre.

Loi de répartition des efforts suivant les résistances à vaincre. — Toute résistance opposée à une partie du corps fait naître une action musculaire égale et opposée; par exemple une résistance extérieure produisant la flexion du bras fera naître un effort ou réaction musculaire d'extension et inversement.

Loi du relâchement des muscles. — Toute résistance appliquée sur une partie du corps a pour effet de relâcher les muscles dont elle remplace la fonction; par exemple, si le bras est étendu passivement par une résistance extérieure, les muscles extenseurs tombent dans le relâchement.

Loi d'inertie. — Le corps et toute partie du corps tendent à conserver leur état de repos ou de mouvement; le passage du repos au mouvement ou d'un mouvement à un autre mouvement avec vitesse ou direction variées ne peut se faire sans le concours des forces; les forces motrices sont intérieures au corps, mais ce dernier ne peut se mouvoir sans points d'appuis extérieurs.

1. Conditions économiques de l'exercice, in *Les Bases scientifiques de l'Éducation physique*, 2e édition; Paris, F. Alcan, 1903.

Loi des masses. — La vitesse d'un mouvement est en rapport avec la masse à mouvoir, les résistances à vaincre et la force motrice ; le travail se mesure par la force vive, il est proportionnel à la masse en mouvement et au carré de la vitesse de celui-ci.

Poids et centre de gravité du corps. — Notre force musculaire s'exerce sans cesse à vaincre le poids du corps et la résistance d'inertie de ses différentes parties. Toutes les molécules du corps sont pesantes, elles représentent des petites forces parallèles dirigées verticalement ; elles peuvent se composer partiellement pour former le poids d'un membre, du tronc ou totalement pour former le poids du corps entier. Il est commode de représenter ce poids par une seule force appliquée en un point idéal appelé centre de gravité.

Le centre de gravité du corps est le point d'application de la résultante du poids de toutes ses parties, on ne peut donc lui assigner aucune position fixe dans le corps, ce serait une absurdité. Il faut en déterminer la situation pour chaque attitude particulière.

Détermination de la position du centre de gravité dans les attitudes du corps. — Nous avons fait cette recherche expérimentale à propos des principales attitudes de la marche, de la course et du saut et nous avons obtenu les chiffres suivants :

Le sujet était étendu sur un lit de sangle suspendu et pouvant osciller sur des couteaux autour de deux axes horizontaux et rectangulaires comme une suspension de cardan [1]. Partant de la position droite où l'équilibre était indiqué au moyen d'un index, on changeait d'attitude ce qui déplaçait l'index. On rétablissait l'équilibre au moyen de poids additionnels et, par un calcul de proportion très simple, on obtenait la valeur en millimètres du déplacement du centre de gravité dans le corps par suite du changement d'attitude (fig. 117).

Le déplacement du centre de gravité était compté dans deux directions, en avant ou en arrière.

L'homme étant couché sur le côté, voici les déplacements en

1. G. Demeny, Étude des déplacements du centre de gravité dans le corps de l'homme, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 10 octobre 1887.

avant et en arrière correspondant à quelques attitudes simples.

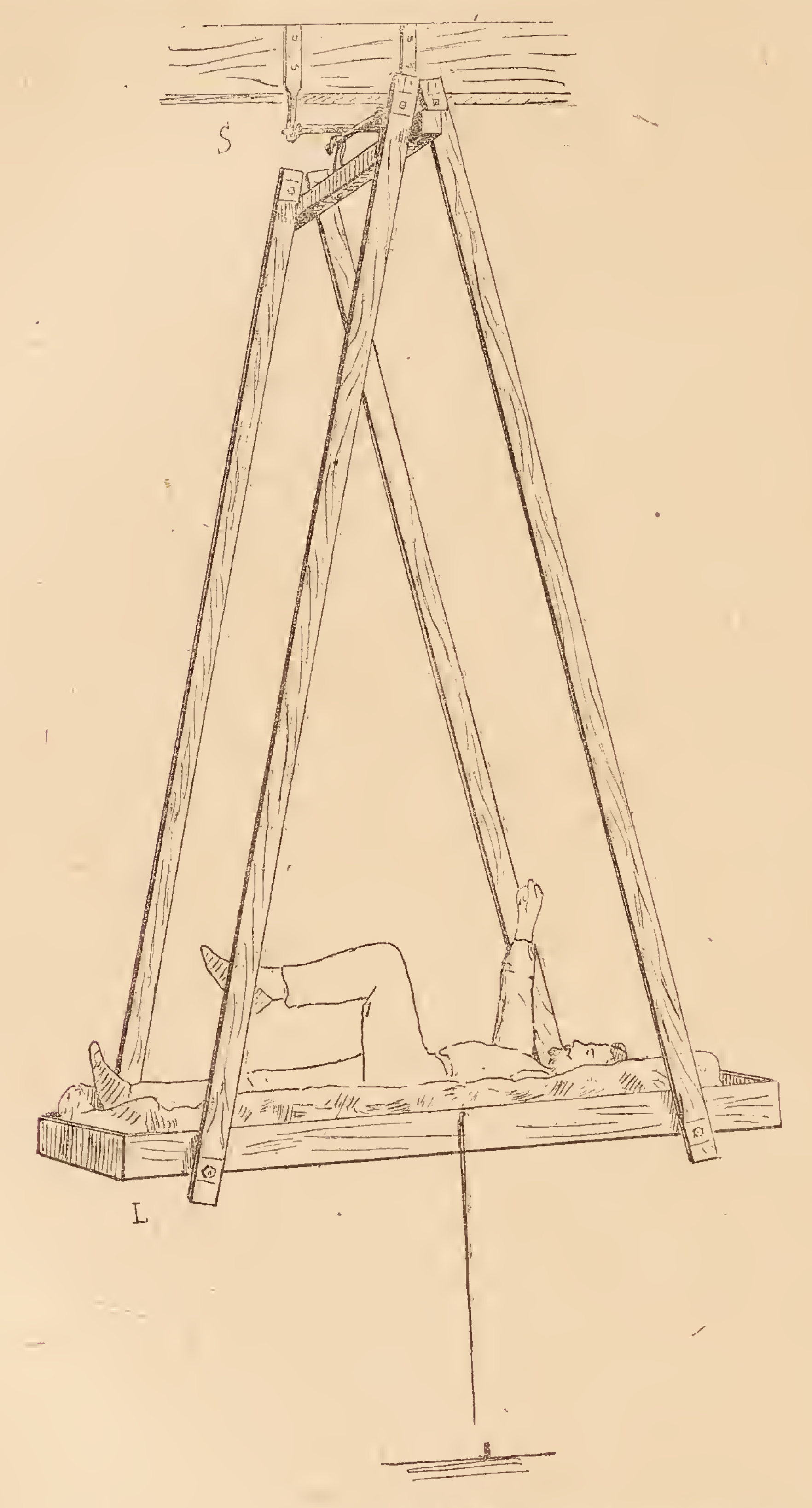


Fig. 117. — Lit suspendu à la cardan pour la détermination de la position du centre de gravité dans le corps dans différentes attitudes (Demeny).

I, index pour montrer les variations d'écart dans l'équilibre du système.

Taille 1,66 m.; hauteur du centre de gravité au-dessus du sol dans la station droite 0,945 m. (fig. 118).

Dans les attitudes correspondant à la course et au saut les

écarts sont encore plus considérables. Par exemple dans la position du sauteur au-dessus de l'obstacle le centre de gravité est porté à 109 millimètres en avant et à 138 millimètres en haut.

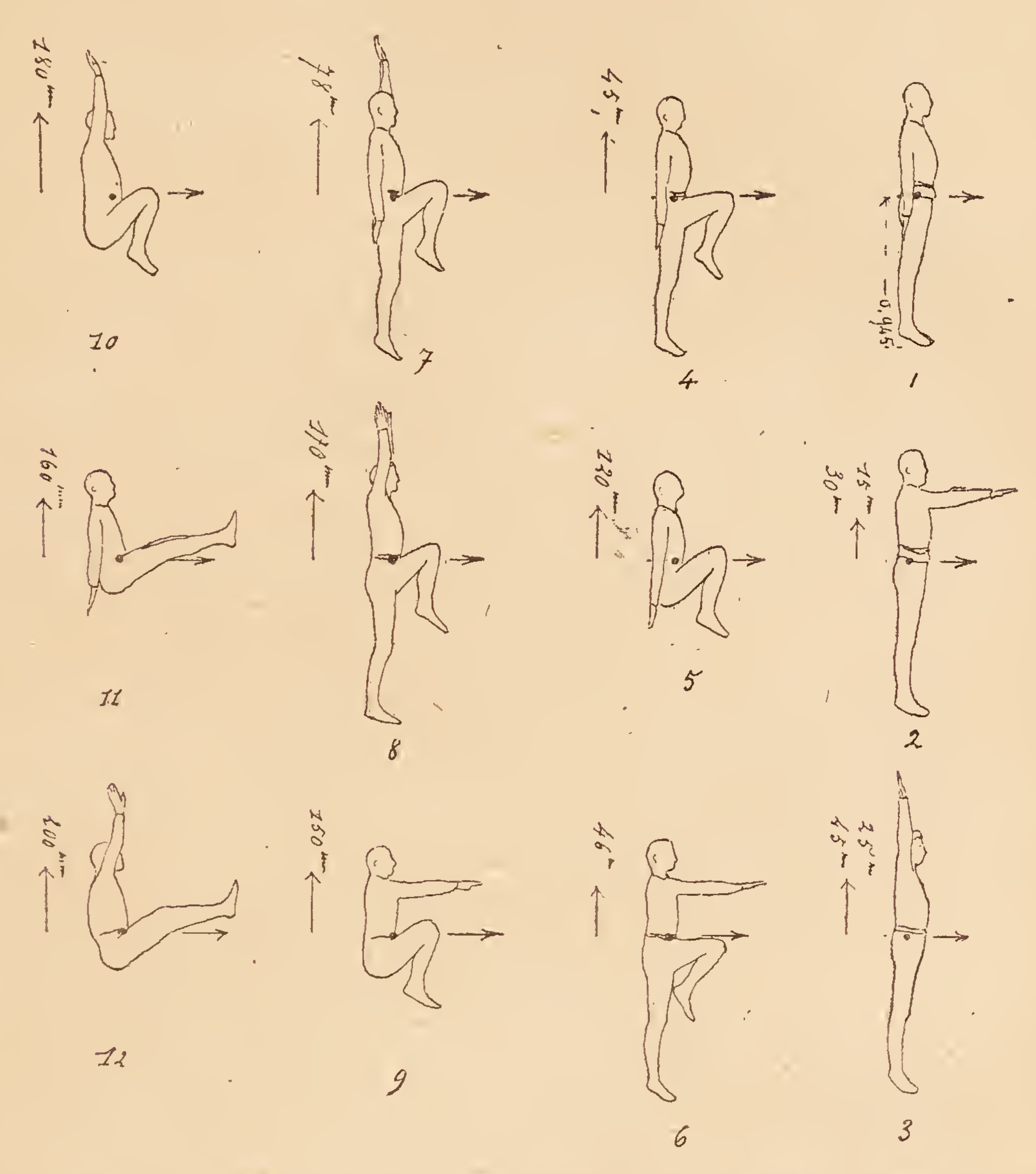


Fig. 118. — Attitudes que l'on rencontre dans les différentes phases du saut où sont indiqués les déplacements correspondants du centre de gravité en millimètres.

Nous verrons qu'il faut tenir compte de cette position du centre de gravité dans la hauteur du saut et dans l'évaluation du travail.

Conditions de stabilité du corps reposant sur le sol. Base de sustentation. — La seule condition d'équilibre sur un sol horizontal est que le centre de gravité du corps soit verticalement placé au-dessus de la base de sustentation ou la figure convexe formée par les contours des pieds et les tangentes à ces con-

tours. Bien entendu il faut d'abord et avant tout que les différentes parties du corps soient fixées et forment un tout solide.

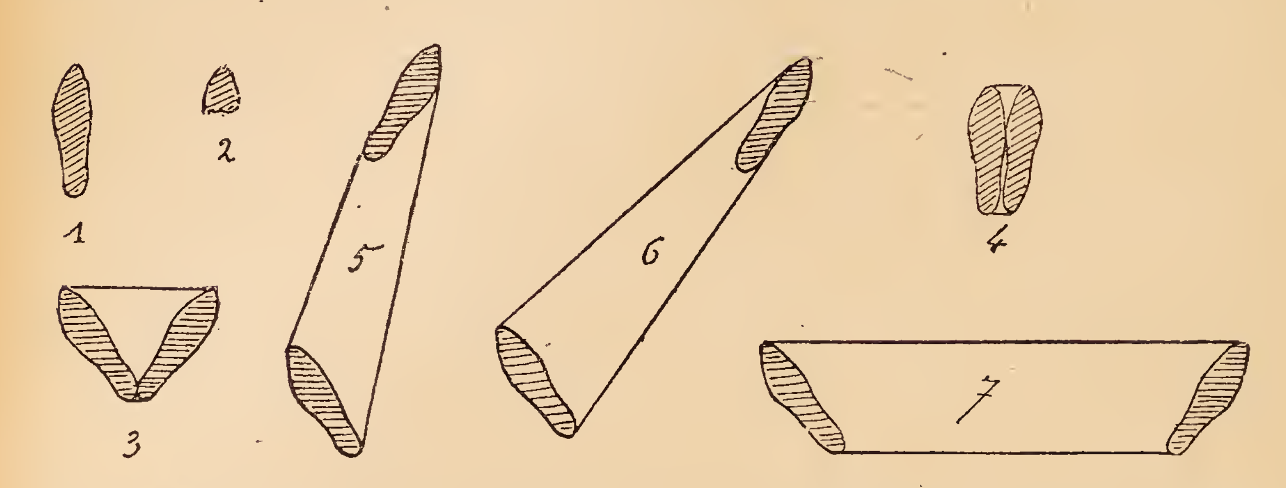


Fig. 119. — Différentes formes de base de sustentation du corps reposant sur le sol.

1, station sur un pied ; — 2, station sur la pointe d'un pied ; — 3, station talons réunis, pointes écartées ; — 4, id., les pieds joints ; — 5, fente en avant ; — 6, fente oblique ; — 7, fente latérale.

Une fois cela obtenu, la stabilité diminue ou augmente avec l'étendue de la base de sustentation (fig. 119).

Il y a bien quelques petits écarts de cette condition rigoureuse grâce au frottement des chaussures et du sol, mais l'équilibre demande le concours actif de la force musculaire et ne peut être maintenu longtemps. Si l'on se penche légèrement en avant, il y a contraction énergique des extenseurs du pied, des fléchisseurs des orteils, des extenseurs de la jambe et du tronc, le coccyx étant rejeté en arrière. Si l'on se penche en arrière, ce sont les fléchisseurs du pied et du tronc qui agissent ; dans l'inclinaison latérale, les fléchisseurs latéraux du tronc (fig. 120).

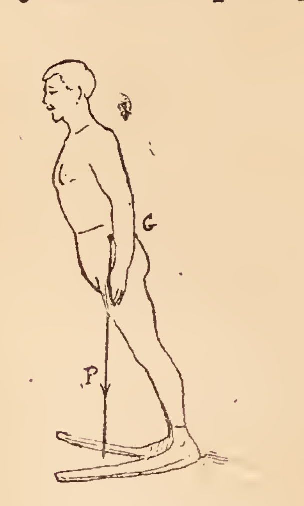


Fig. 120 — Station inclinée obtenue en donnant aux semelles une grande longueur et une grande rigidité.

Dans la station droite ces diverses actions musculaires s'exercent sans cesse pour rétablir à chaque instant l'équilibre compromis et empêcher une chute de se produire. L'homme ivre ou endormi chez lequel les muscles se relâchent, s'affaisse sur lui-même, la tête, le tronc et les jambes fléchis.

Foudroyé par une mort subite on tombe en avant, la face contre terre.

Un sujet amputé des deux pieds ne peut rester immobile sur place si ses membres artificiels sont terminés par des pilons. La base de sustentation est alors restreinte et les réactions musculaires du pied nécessaires pour rétablir à chaque instant l'équilibre n'existent plus.

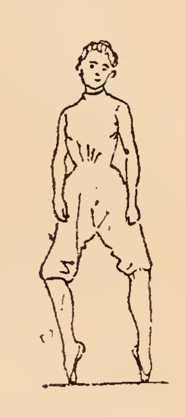


Fig. 121. — Station sur la pointe des orteils.

Pour augmenter la stabilité de la station debout, on écarte la pointe des pieds, on se fend en avant, de côté ou latéralement; suivant la forme et l'étendue de la base de sustentation, les mouvements du tronc deviennent possibles sans compromettre la stabilité. Pour résister à un effort extérieur, on prend une base dans la direction de cet effort ; ainsi si l'on porte par exemple la jambe droite en avant légèrement fléchie, la jambe gauche tendue en arrière comme un arc-boutant, l'axe du pied droit perpendiculaire à celui du pied gauche, la base de sustentation aura la forme d'un triangle et permettra la flexion du tronc en avant; le centre de gravité du corps se projettera toujours sur la surface ainsi délimitée. L'attitude précédente est bonne pour résister à un effort venant de front (fig. 119).



Fig. 122. — Forme de la base de sustentation dans la s ation sur la pointe d'un pied.

C'est à peu de chose près la position de l'escrime et de la boxe.

L'équilibre devient de plus en plus difficile à maintenir si l'on se tient sur un seul pied, la base de sustension étant réduite à la surface de contact avec le sol (fig. 122).

La stabilité diminue encore à plus forte raison si l'on se dresse sur la pointe des pieds ou sur la pointe d'un seul pied comme les danseurs. Étant en équilibre si l'on porte la jambe libre en avant, en arrière, ou latéralement, le tronc s'incline respectivement en arrière, en avant ou latéralement mais du côté opposé à la jambe libre afin de ramener au-dessus de la

base de sustentation le centre de gravité de l'ensemble déplacé par le fait de la nouvelle attitude (fig. 123).

EXERCICES D'ÉQUILIBRE. — Les équilibres sur le sol demandent une éducation spéciale, beaucoup de souplesse et une grande intégrité du système nerveux. Ils donnent une assurance et un aplomb tout particuliers. On peut les graduer facilement en les exécutant d'abord sur le sol (fig. 123), puis sur la poutre dans des attitudes de plus en plus difficiles et à des hauteurs de plus en plus grandes.



Fig. 123. — Équilibre sur une jambe les bras écartés.

Les coups de pied de flanc et les coups de pied de figure usités dans la boxe française sont de véritables exercices d'équilibre très intéressants à ce point de vue.

Les danseurs de corde ont différents moyens d'assurer leur équilibre. Sur une corde raide celui-ci est tout à fait instable, le moindre écart fait dévier le centre de gravité de la verticale passant par la corde et la chute devient inévitable.

On se sert alors des bras ou mieux encore du balançier pour rétablir à chaque instant la position du centre de gravité au-dessus de sa base étroite de sustentation. Le balancier agit surtout par sa masse; lent à se déplacer, il présente au corps une certaine fixité relative et, par son inertie, un point d'appui momentané. Le fil de fer suspendu à deux points fixes demande d'autres conditions de stabilité parce qu'il peut osciller autour de la ligne de ses points de suspension; debout sur le fil, le danseur a toujours son centre de gravité plus bas que cet axe. L'équilibre est donc relativement plus stable; un écart latéral a pour effet de faire osciller le système sans produire immédiatement une chute. Les Japonais excellent à ces exercices; on les voit demeurer longtemps sur ce fil et y prendre toutes les attitudes possibles. Le parasol qu'ils ont à la main n'est pas un ornement, c'est un véritable instrument d'équilibre, il permet de s'appuyer sur l'air comme l'aile de l'oiseau et d'y trouver une résistance analogue au balancier.

Dans les attitudes d'équilibre, le corps prend l'apparence d'une statue, mais cette immobilité est une illusion. Il suffit de toucher les membres maintenus rigides pour constater l'état des muscles, tout vibre chez l'homme ainsi immobilisé ; il y a

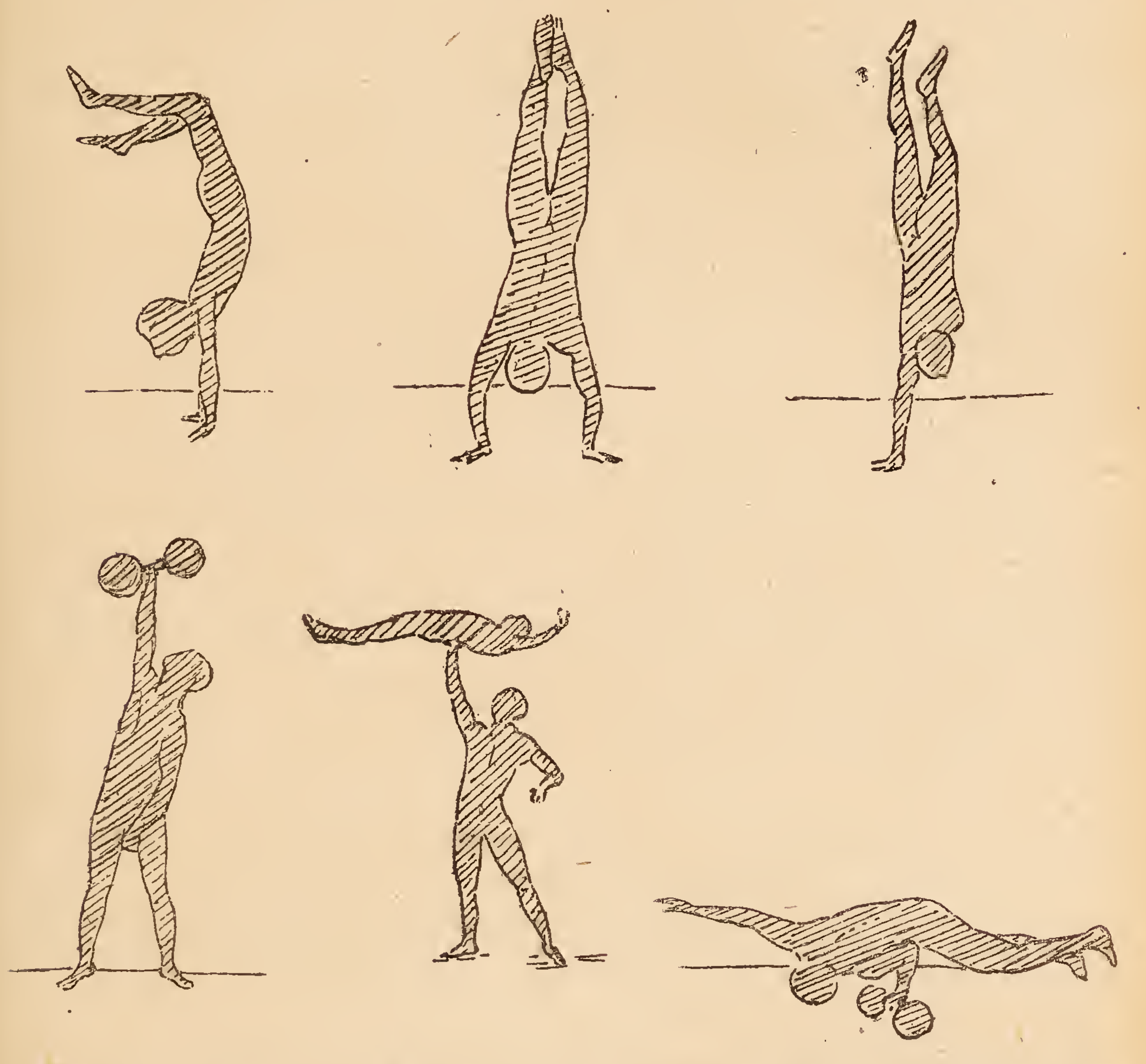


Fig. 124. — Attitudes d'équilibre demandant pour être maintenues une énergie et une coordination spéciales (d'après photographies de MUYBRIDGE).

travail et fatigue réelle. Debout sur le plancher d'un dynamographe sensible, l'appareil indique des trépidations, au lieu du calme on constate une agitation incessante (fig. 124).

ÉQUILIBRE SUR UN PLAN INCLINÉ. — Les conditions d'équilibre sont les mêmes sur un plan incliné; la base de sustentation est alors réduite à la projection horizontale de la base sur le plan incliné. La stabilité dépend du poli de la surface sur laquelle on repose. Le frottement doit être assez considérable

pour empêcher le glissement qui se produirait également sur un plan horizontal lorsque les jambes ont une position oblique ; par exemple dans la fente de l'escrime ou dans la station les jambes écartées.

CHARGE ET PRESSION SUR LES POINTS D'APPUI. — La pression se répartit sur les points d'appui d'après la loi connue des

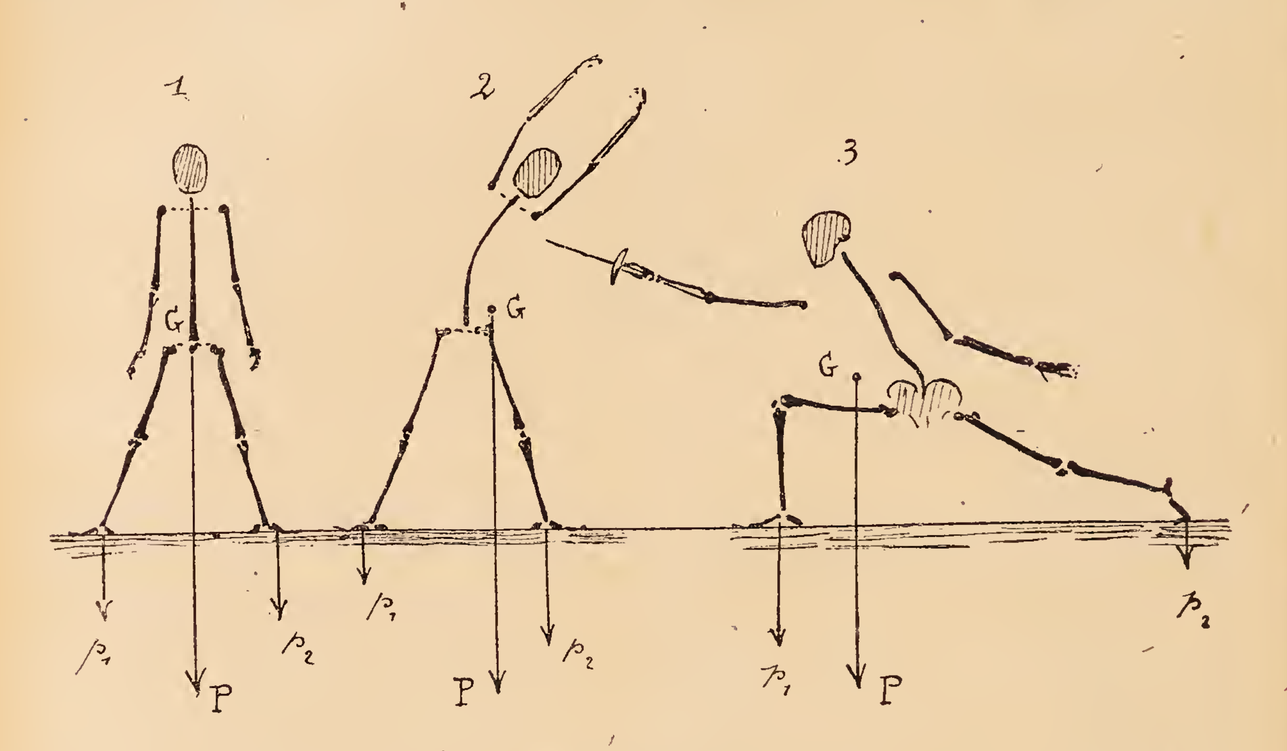


Fig. 125. — Répartition de la charge sur chacun des pieds dans différentes attitudes.

G, centre de gravité ; — P, poids du corps ; — p_1, p_2, composantes du poids supporté par chaque pied ; — 1, fente latérale ; pressions égales ; — 2, inclinaison latérale du tronc, pressions inégales ; — 3, fente de l'escrime, charge très grande du pied en avant.

moments des forces parallèles. S'il y a un seul point d'appui, il supportera toute la charge du poids du corps, s'il y en a deux ou plusieurs, la somme des pressions sera égale au poids et leur valeur dépendra de la position du centre de gravité. La décomposition du poids du corps doit être en rapport inverse avec les distances des centres des surfaces d'appui à la verticale passant par le centre de gravité.

Si nous nous tenons debout les jambes écartées, le corps droit, les bras symétriquement placés, la pression sera la même sur les deux pieds et égale à la moitié du poids du corps.

En nous penchant latéralement (fig. 125) le centre de gravité G se projettera en G′ du côté du pied où l'on s'incline. La pression augmentera sur ce pied et diminuera sur l'autre

dans le rapport inverse des distances AG′ et G′B de façon à avoir toujours : $P_1 + P_2 =$ poids du corps. A et B étant les appuis des pieds G′ la projection du centre de gravité sur le sol. Nous avons construit des appareils mettant en évidence la pression différentielle du pied droit et du pied gauche, ce qui permet de constater que presque jamais, en station debout, nous n'avons une égale répartition de la charge sur les membres inférieurs, ceci pourrait expliquer la production de certaines déformations du squelette, en particulier la scoliose des enfants. Si la fente devient assez grande pour amener le centre de gravité du corps au-dessus du pied, (fig. 287) la pression supportée par ce dernier sera tout le poids du corps, tandis que sur l'autre elle deviendra nulle.

Tout ceci est vrai du corps reposant immobile sur le sol.

En réalité la pression des pieds change à chaque instant, le moindre mouvement produit des variations de pression et l'on pèse ainsi tantôt plus, tantôt moins que le poids réel, suivant le mouvement ascensionnel du centre de gravité ; les dynamographes nous en ont montré la loi, nous aurons à revenir sur ce point dans l'étude de la locomotion, principalement à propos de l'étude du saut.

Plus nous avons de surface du corps en contact avec le sol et moins la pression en chaque point est considérable. Assis sur un siège, accoudé à une table, appuyé sur une canne ou des béquilles, nous soulageons une grande partie de nos articulations et de nos muscles. Couché sur un matelas, nous avons alors une base de sustentation et une surface de contact maximum. Le poids du corps se répartit sur toute cette surface ; chaque point du corps ne supporte ainsi qu'un minimum de pression. C'est la meilleure manière de nous reposer ; nos muscles sont complètement relâchés. Le cœur lui-même se repose, il n'a plus à élever verticalement la colonne sanguine, son travail est considérablement réduit.

RÔLE DES CONTRACTIONS MUSCULAIRES DANS LES DIVERSES STATIONS. — La station droite et les diverses stations exigent au contraire le concours de la force musculaire pour maintenir les différentes pièces du squelette en équilibre. Un cadavre, après la rigidité, devient souple et flexible ; il est impossible de le faire tenir

debout. Il y a donc constamment une lutte entre la pesanteur et les muscles fléchisseurs et extenseurs des différentes parties du corps. Plus les membres sont étendus, moins il est nécessaire de faire intervenir la force musculaire. Dans l'extension complète du genou, les ligaments peuvent suffire à limiter le mouvement et le poids du corps tend à produire l'écrasement

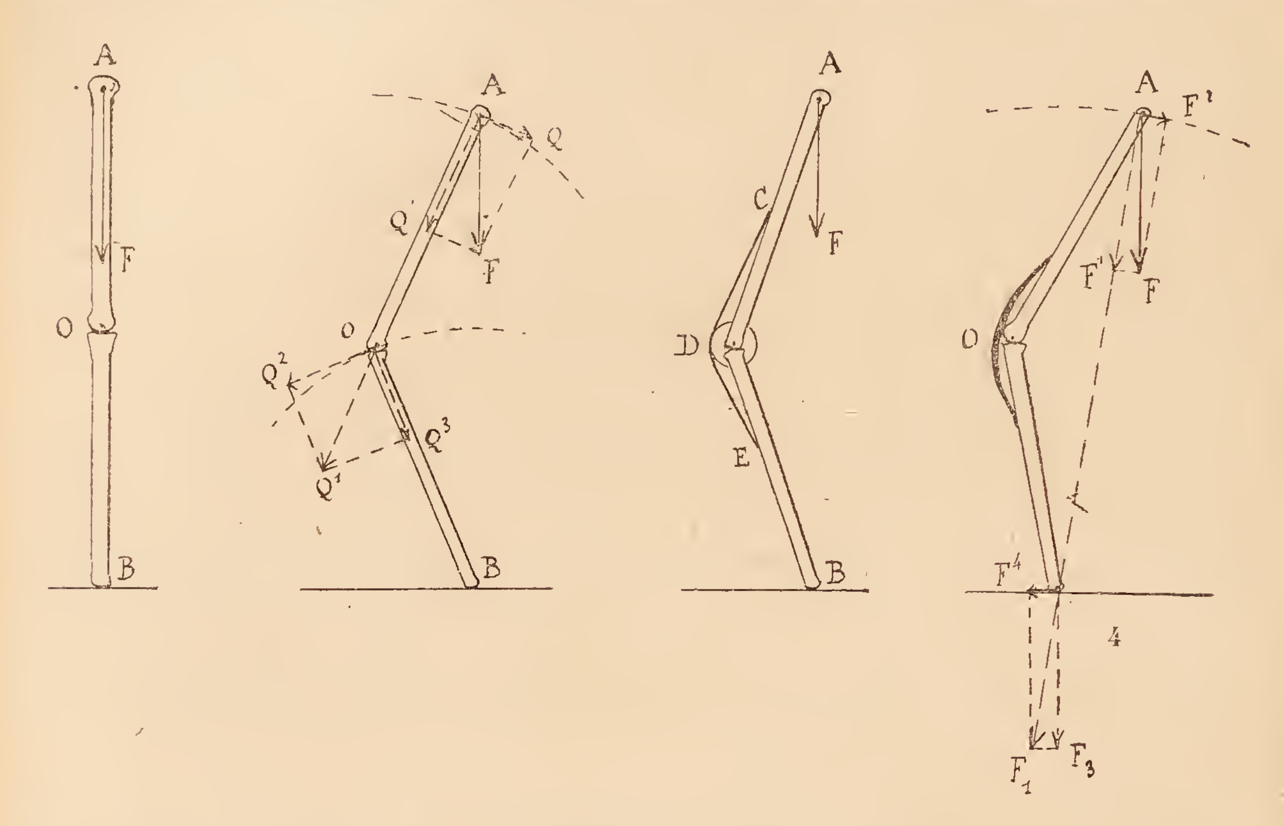


Fig 126. — Équilibre de deux segments osseux rigides d'abord dans le prolongement l'un de l'autre puis fléchis. Décomposition des forces qui permettent d'obtenir la rigidité et l'équilibre du système.

des os servant de colonne de soutien. Mais lorsque les segments sont fléchis il faut l'effort des muscles pour les maintenir sous un angle donné, si obtus soit-il.

La hanche A et le genou O (fig. 126, 1 et 2) peuvent se mouvoir sur deux circonférences ayant respectivement le genou et la cheville comme centres.

Le poids du corps s'exerce en A il se décompose en deux efforts, l'un perpendiculaire au fémur Q, l'autre dirigé suivant sa direction Q'.

Cette dernière composante transportée elle-même en O se décompose en Q^2 et Q^3, l'une perpendiculaire au tibia et l'autre suivant celui-ci. La composante Q^3 est détruite par la résistance de l'os et du sol. Il reste Q et Q^2 agissant pour fléchir le système.

L'équilibre est dû à l'antagonisme de la force musculaire des extenseurs dont l'action est comparable à la tension d'un cordon CDE passant sur une poulie ayant le genou pour axe et s'attachant aux os en C et en E (fig. 126, 3 et 4)[1].

1. L'intensité de l'effort musculaire nécessaire à maintenir deux segments osseux articulés sous un angle α peut se calculer comme il suit. Les segments ayant pour longueurs respectives L et M.

l et m les distances des points d'insertion du muscle à l'axe du mouvement o.

Pour simplifier la question, nous faisons abstraction du poids des segments et nous supposons l'effort AF perpendiculaire au plan de support xy et dirigé suivant AB (fig. 127).

Le système étant en équilibre sous l'action de la force F, de la réaction du plan égale et opposée à F et de la tension du cordon CED, nous pouvons considérer le point O comme fixe.

$\beta\beta_1$ les angles des cordons avec les segments, angles constants.

$\lambda\lambda_1$ les angles des segments avec la ligne AB.

La condition d'équilibre est :

$$Tl \sin \beta = FL \sin \lambda.$$

D'où
$$T = F \frac{L}{l} \frac{\sin \lambda}{\sin \beta}$$

exprimons sin λ en fonction de α et de M :

$$\sin \lambda = \frac{M \sin \alpha}{h} = \frac{M \sin \alpha}{\sqrt{L^2 + M^2 - 2 LM \cos \alpha}}$$

$$T = F \times \frac{L}{l} \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \times \frac{M}{\sqrt{L^2 + M^2 - 2 LM \cos \alpha}}$$

Le maximum de cette tension pour une valeur déterminée de F a lieu pour $\cos \alpha = \frac{L}{M}$ et $\cos \alpha \frac{M}{L}$. Pour $\alpha = 90°$ la tension serait environ 6 fois le poids du corps.

Suivant que L sera plus grand que M ou M plus grand que L, on aura un maximum quand le triangle AOB sera rectangle en A ou dans le second cas rectangle en B (fig. 128).

La tension des muscles partira de 0 pour $\alpha = 180$ passera par le maximum pour α aigu et se réduira à 0 pour $\alpha = 0$.

Le même calcul peut se faire pour le cas où le système articulé serait suspendu au point A fixe et où le cordon λ relie deux points de l'avant-bras et du bras (fig. 128).

$$T = F \frac{M}{m} \frac{L}{l} \frac{\lambda}{\sqrt{L^2 + M^2 - 2 LM \cos \alpha}}$$

Le système entier du membre inférieur est maintenu rigide mais peut tourner autour de la cheville. Si la ligne AB n'est pas verticale cette rotation tendra à se produire par l'effet de la composante F_2 tangente à la circonférence décrite du point B comme centre avec BA pour rayon. La charge supportée par le point B sera F_3, composante verticale de F, transportée en B.

La composante horizontale F sera détruite par la résistance du point B ou par le frottement sur le sol. Cette charge sera égale à l'effort total supporté si la ligne AB est verticale. Toutes les composantes suivant l'axe des os sont détruites par la résistance des surfaces et des ligaments articulaires.

Station droite. — L'équilibre des différents segments du corps en station droite ne demande pas une tension musculaire continue, ce qui serait impossible. Ces segments sont déjà presque en équilibre instable, les muscles empêchent cet équilibre d'être rompu en se contractant au moment et dans la direction voulue pour empêcher le mouvement de se produire. Leur rôle est intermittent et leur action peu énergique. Néanmoins on se fatigue en restant debout et l'on cherche instinctivement à se reposer en faisant porter la tension non plus sur les muscles mais sur les ligaments.

Le tronc est en équilibre sur la ligne des têtes fémorales, le centre de gravité du tronc situé à la hauteur de la pointe du sternum est, grâce à la courbure lombaire du rachis, situé verticalement au-dessus de cette ligne (fig. 130).

La station droite contre un mur définie à propos de la rectification du rachis demande certainement un effort considérable impossible à soutenir longtemps.

Bientôt fatigué, si l'on ne peut s'asseoir, on prend des attitudes mauvaises mais économiques. La première consiste à projeter

C'est le cas des muscles fléchisseurs de l'avant-bras résistant à un effort d'extension (fig. 129).

La tension des muscles et la loi de variation de cette tension pour une même résistance suivant l'angle des segments peut se constater expérimentalement au moyen d'appareils explorateurs du durcissement du muscle. Ces appareils indiquent au moyen d'une aiguille qui se meut sur un cadran la quantité dont un bouton d'ivoire rappelé par un ressort pénètre dans le corps du muscle qui se laisse d'autant plus écraser qu'il est moins dur.

(Voir : *Appareils d'anthropométrie et règles d'analyse des mouvements dans le Cours supérieur d'Éducation physique.*)

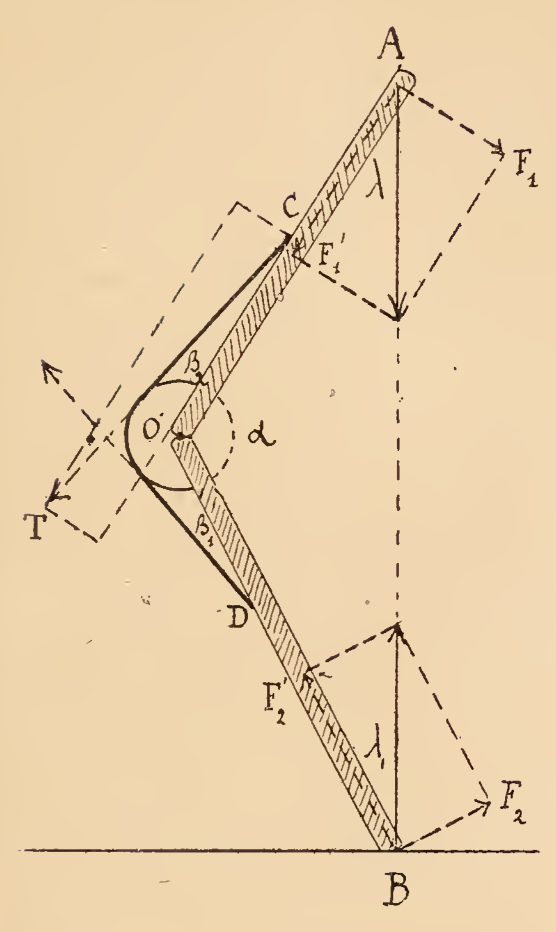


Fig. 127. — Mesure de l'intensité de l'effort musculaire nécessaire pour maintenir deux segments osseux articulés sous un angle donné.

Fig. 128. — Cas des fléchisseurs de l'avant-bras; calcul de l'effort des muscles équilibrant une résistance F.

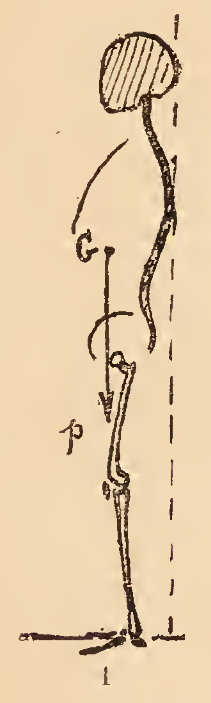




Fig. 129-130. — 1, Station droite correcte nécessitant un certain effort de volonté; — 2, mauvaise station économisant l'effort, le poids du corps étant rejeté en arrière de la ligne des têtes fémorales, la contraction musculaire est remplacée en partie par la tension des ligaments articulaires.

le ventre en avant et à s'incliner en arrière. Les membres

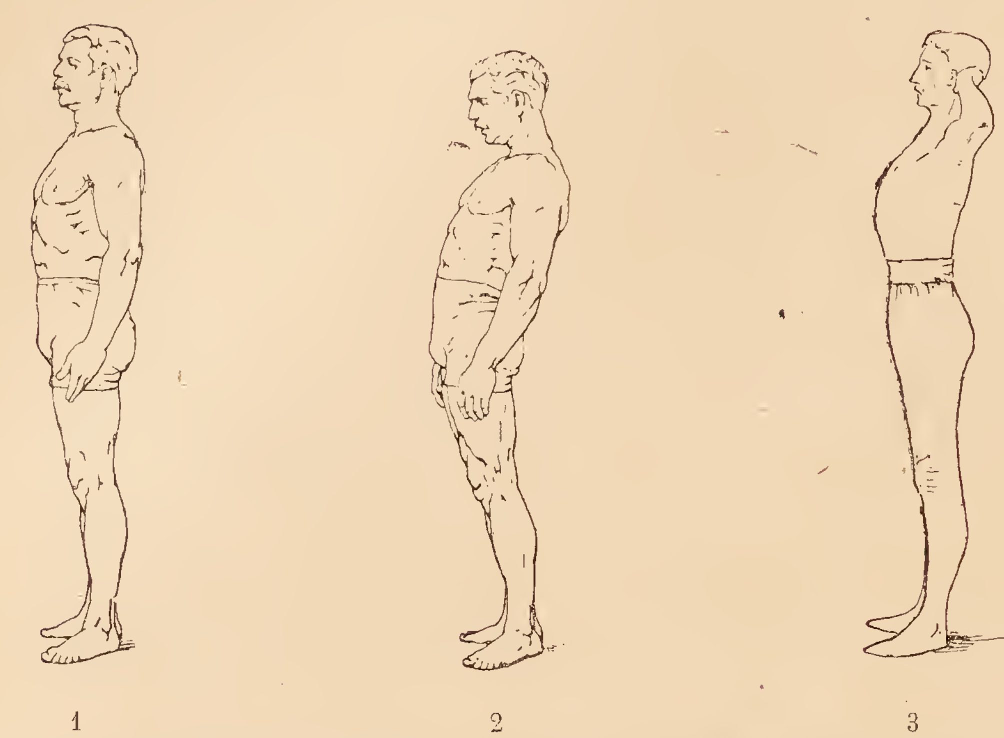


Fig. 131. — 1 et 3, Bonne station droite ; — 2, mauvaise station droite.

inférieurs n'étant plus verticaux, le centre de gravité du tronc passe en arrière des têtes fémorales, le poids du corps tend à produire l'extension du tronc sur la cuisse ; nous avons vu le ligament de Bertin limiter cette extension (fig. 130, 2).



Fig. 132. — Station hanchée.

Les psoas-iliaques fortement tendus servent aussi de ligaments actifs comme les aponévroses et le tenseur du *fascia lata*. La ligne de gravité peut passer en avant de l'articulation du genou, le poids du corps produit alors l'extension de cette articulation, extension limitée par les ligaments croisés et latéraux, ainsi que par les muscles fléchisseurs de la jambe, s'insérant au bassin et faisant l'office de cordes tendues entre l'os iliaque et le tibia. Le rôle des extenseurs de la jambe et du bassin est par là même annulé (fig. 131).

La ligne de gravité passe également en avant de l'articulation de la cheville, le poids du corps tend à

produire la flexion de la jambe sur le pied, mais la tonicité des jumeaux distendus empêche cette flexion.

On ressent dans cette attitude droite longtemps soutenue une sensation de lourdeur dans l'aine et un tiraillement dans le mollet au-dessus de l'articulation du genou, ce qui concorde bien avec les efforts indiqués.

On prend aussi pour se reposer la station hanchée (fig. 132); on fait porter le poids du corps tantôt sur la jambe droite, tantôt sur la jambe gauche en amenant le centre de gravité sur l'une des têtes fémorales. La jambe correspondante est tendue, l'autre se repose fléchie légèrement et fait l'office d'arc-boutant pour maintenir la stabilité.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'attitude hanchée provoque des torsions de la colonne vertébrale devenant à la longue de véritables déviations.

Le tronc et la tête ont aussi leurs conditions d'équilibre.

Le centre de gravité de la tête se projette en avant des condyles occipitaux, le plan des surfaces articulaires est incliné en avant et en bas. La flexion de la tête sur l'atlas est très peu étendue. La flexion de la tête est due en grande partie à la mobilité des vertèbres cervicales. Celles-ci sont maintenues en extension par un grand nombre de faisceaux musculaires qui peuvent en se relayant, exercer une action continue. Chez le cheval et les animaux à long cou l'effort musculaire pour soutenir la tête est remplacé par la tension du ligament cervical.

La courbure dorsale de la colonne vertébrale tend à s'augmenter sans cesse, sous l'action du poids des viscères et par l'intermédiaire des côtes. Il est donc économique de se tenir droit; plus on se courbe, plus il faut de la part des muscles des gouttières vertébrales une contraction énergique pour se redresser.

Ces muscles sont fortement soulagés par la tension des ligaments jaunes élastiques limitant la flexion des vertèbres et équilibrant l'effort de flexion en avant.

Le poids des viscères abdominaux est supporté en partie par les os iliaques, en partie par les muscles et aponévroses des muscles des parois abdominales et fermant le détroit inférieur du bassin.

La station droite prolongée a des inconvénients multiples; elle fatigue, refroidit, trouble la circulation et cause des stases

sanguines dans les membres inférieurs avec dilatation des veines et œdème des tissus.

Elle exagère les courbures vertébrales, en produit quelquefois d'anormales, fait relâcher les parois abdominales et irrite en les écrasant les surfaces articulaires du genou et de la cheville. Rien n'est fatigant comme de rester debout immobile, il est moins pénible de marcher et de se remuer.

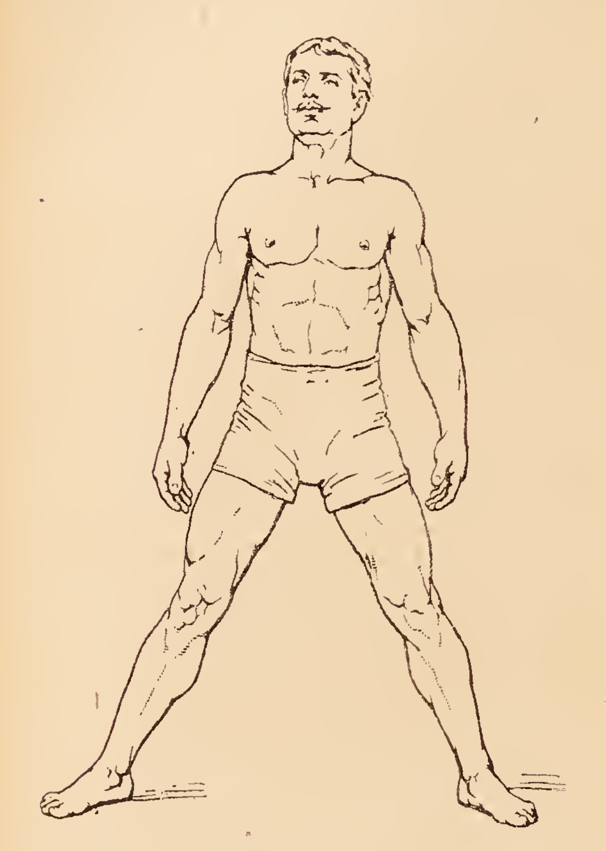


Fig. 133.— Station les jambes écartées ou fente latérale.



Fig. 134. — Fente en avant.

Stations diverses. — Si la station debout, les membres étendus, produit de la fatigue, à plus forte raison les attitudes fléchies, fendues ou accroupies sont-elles pénibles (fig. 133).

Dans la station les jambes écartées l'équilibre du tronc sur les têtes fémorales est celui de la station droite, mais le poids du corps tend à exagérer l'écartement des jambes. Le frottement et les muscles adducteurs des cuisses s'y opposent et partagent l'effort. Sur un plan parfaitement poli le frottement étant nul, tout l'effort porte sur les muscles adducteurs. Dans les fentes en avant, dans les gardes de la boxe et de l'escrime (fig. 134) les genoux sont fléchis et les extenseurs des jambes et des cuisses fortement contractés.

Dans la station accroupie (fig. 135) l'effort musculaire est

différent suivant le degré de flexion des extrémités inférieures.

La flexion des jambes est limitée par la rencontre de la cuisse avec l'abdomen (fig. 137), du mollet avec la cuisse et par la forme de l'articulation de la cheville. Les gens obèses ont du mal à s'accroupir pour cette raison. Avec la même base de sustentation, la stabilité est plus grande que dans la station debout sur la pointe des pieds, le centre de gravité du corps étant

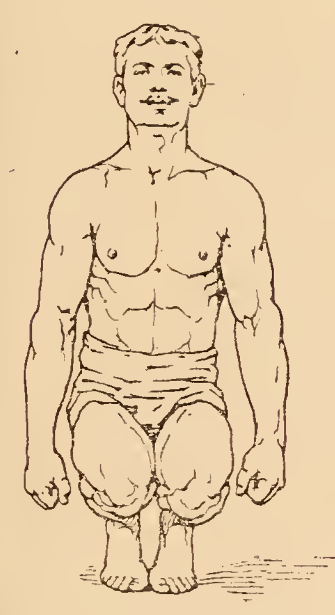


Fig. 135. — Station accroupie, les genoux joints.

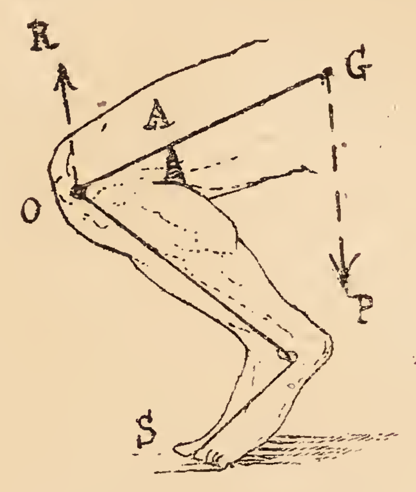


Fig. 136. — Montrant l'action du poids P du corps sur l'articulation du genou dans la station accroupie.

Le point d'appui A donné par le contact du mollet et de la cuisse, tend à disjoindre les surfaces articulaires sous l'action résultante R.

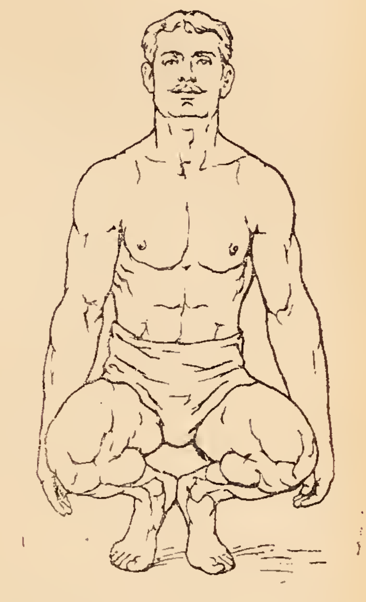


Fig. 137. — Position accroupie, les talons joints, les genoux écartés.

considérablement abaissé. La cuisse prend point d'appui sur le mollet et le genou se fatigue. Les vaisseaux sont comprimés, le sang circule mal et, si l'on se relève après un accroupissement assez long, on a des éblouissements et du vertige dus au retour subit du sang dans le membre inférieur. L'effort musculaire se fait surtout sentir dans les orteils et dans tous les extenseurs de la jambe si l'on maintient les segments fléchis sans prendre aucun point d'appui sur l'abdomen ou le mollet.

Station assise. — Assis sur un siège, la base de sustentation est représentée par toute la partie du corps en contact avec le siège, c'est-à-dire les ischions et les parties molles de la région fessière, par les pieds et les coudes sur lesquels on s'appuie légèrement pour écrire. Si le tronc est incliné contre le dossier du siège, il y a relâchement des extenseurs de la colonne verté-

brale. La meilleure condition de repos est d'avoir la surface du siège et le dossier un peu inclinés en arrière. La pression du corps sur le siège est une cause de douleur et de fatigue ; on l'atténue au moyen de coussins élastiques se moulant sur la forme du corps et répartissant ainsi la pression sur le plus grand nombre de points possibles.

Nous avons vu antérieurement les inconvénients des mauvaises attitudes assises et les déviations qu'elles peuvent engendrer [1].

Les personnes toujours assises sont sujettes à bien des malaises, circulation mauvaise, refroidissement général, langueur des fonctions, gonflement des pieds, constipation, hémorroïdes, congestion des parties génitales ce sont les moindres maux dont ils souffrent. Il faut changer souvent d'attitude, éviter l'immobilité dans cette position en faisant alterner la session avec la position debout et la marche.

La stabilité de la station assise dépend de la largeur du siège ; l'équilibre devient très instable sur une simple barre. Le centre de gravité du tronc est situé au-dessus de la barre, s'il sort du plan vertical passant par celle-ci, il y aura chute à moins de le ramener aussitôt à sa première position par un mouvement convenable et subit des membres.

Se relever étant assis. — Pour passer de l'attitude assise à l'attitude droite, on place d'abord les pieds sous le siège, on fléchit fortement le tronc sur les cuisses pour amener le centre de gravité du corps au-dessus des pieds (fig. 138). On se trouve alors dans la position accroupie et il suffit de faire effort des extenseurs de la jambe et du tronc pour passer en station droite.

La flexion du tronc est d'autant plus accentuée que l'on est plus faible et que les jambes sont moins fléchies sur les cuisses au moment du lever. Les vieillards, les malades s'aident des bras et s'appuient sur les genoux pour faciliter l'extension du tronc.

Le croisement des jambes étant assis a pour effet de comprimer les vaisseaux ; on voit alors le pied libre osciller sous les ondées sanguines de l'artère fémorale.

1. G. Demeny, Mauvaises attitudes scolaires, in *Les bases scientifiques de l'Éducation physique*.

Attitude favorable au sommeil. — Doit-on prendre une attitude spéciale pour dormir. Chacun a sa position particulière; cependant chez tous, les membres se fléchissent afin de relâcher complètement les muscles fléchisseurs toujours plus raccourcis que les extenseurs. Nous avons déjà montré combien la flexion du tronc, les jambes tendues, est pénible, et nous en avons indiqué la raison dans le mode d'insertion des muscles moteurs de la jambe.

Reste le poids des organes à répartir convenablement. Beaucoup de personnes ne peuvent se coucher sur le côté droit sans ressentir des angoisses

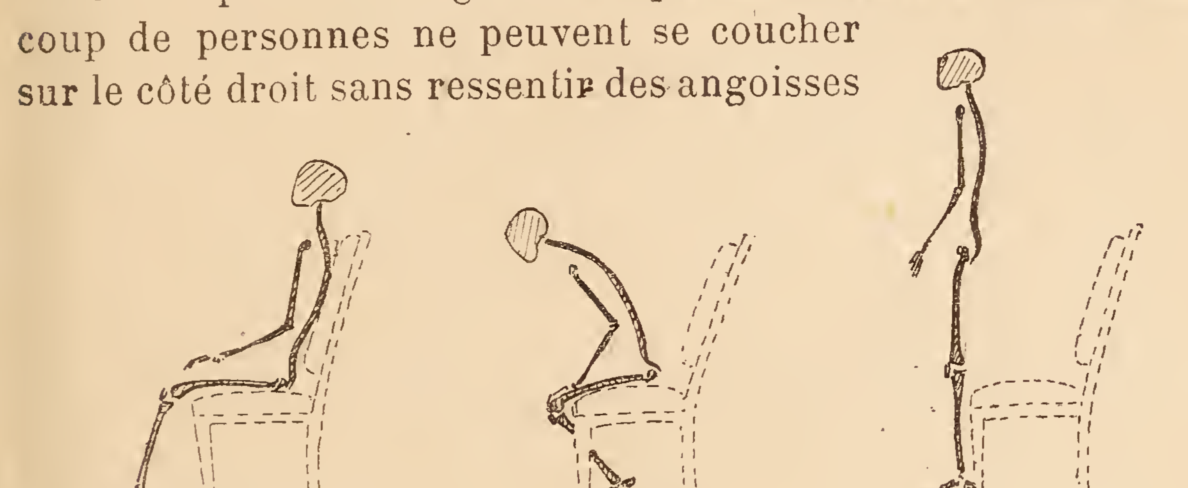


Fig. 138. — Passage de l'attitude assise à l'attitude droite.

dues à la compression du cœur. D'autres ont des rêves et des excitations de la moelle étant couchés sur le dos. Couché sur le côté, le bras gêne, si on l'élève au-dessus de la tête, il y a des tiraillements dans les muscles élévateurs des côtes et difficulté de l'expiration.

On évite ces légers inconvénients en se couchant obliquement sur le ventre, la tête reposant sur le bras fléchi. Le lit ne doit pas être trop moelleux ni la tête trop haute, l'usage des oreillers et du traversin est exagéré. L'un des deux suffit, et il doit être de varech ou de crin de préférence à la plume. Si le lit est trop dur, la charge du corps est inégalement répartie, les points de contact sont peu nombreux, les autres parties du corps forment des voûtes maintenues rigides par la contraction musculaire; le repos n'est pas complet.

Les pieds et l'abdomen doivent être couverts et maintenus plus chaudement que les autres parties du corps. Tête fraîche et pieds chauds est une formule ancienne bonne à rappeler en cette circonstance. L'attitude couchée soulage le travail du cœur

à la condition que les vaisseaux périphériques soient largement ouverts. Il faut avoir bien chaud, surtout aux pieds, pour dormir et se reposer ; la tête un peu plus haute que les pieds est une condition favorable à une bonne circulation cérébrale.

Étant couché se relever. — Pour passer de la station couchée à la station debout, on

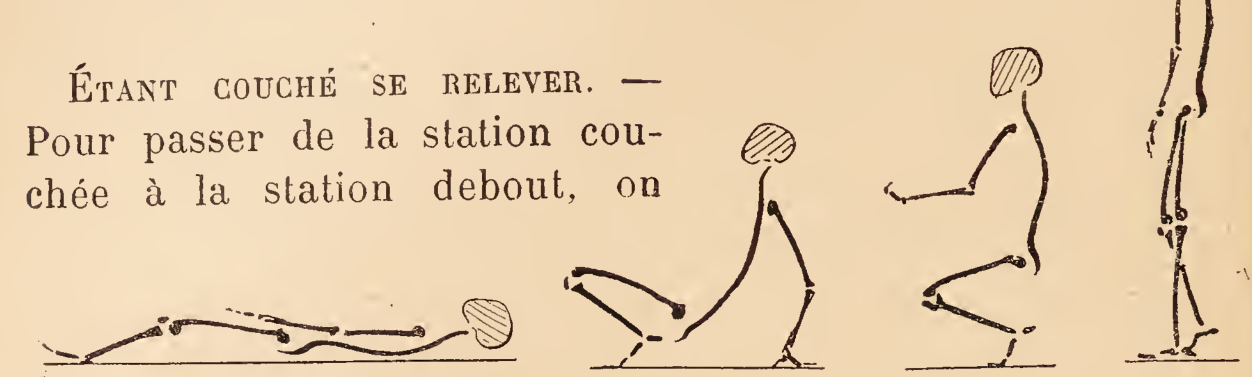


Fig. 139. — Se relever étant couché sur le dos.

infléchit le tronc sur les cuisses, puis prenant point d'appui sur les bras en arrière, on amène les pieds le plus près possible du pubis. On imprime au tronc un élan léger d'arrière en avant et l'on passe ainsi à la station accroupie et de là à la station droite (fig. 139).



Fig. 140. — Effort vertical de traction sur la corde d'un puits.

Limite de traction que l'on peut exercer sur une corde fixée a son extrémité. — Lorsque l'on exerce une traction sur un cordon vertical, soit sur la corde d'un puits, soit sur une corde mouvant une cloche ou un mouton, l'effort musculaire est analogue à celui de la suspension fléchie. Les adducteurs du bras et fléchisseurs du tronc sont les agents du mouvement et, si les premiers attirent le bras vers le tronc, le tronc est attiré par eux avec une intensité égale. Il en résulte que, lorsque l'effort de traction sur le cordon sera égal au poids du corps, celui-ci n'exercera plus de pression sur le sol, et, pour une traction un peu supérieure, le corps sera soulevé verticalement. La limite de

la traction verticale est donc le poids du corps. On peut ainsi se hisser à la force des bras comme on tire l'eau d'un puits (fig. 140 et 141). Si le cordon est oblique, la traction pourra se décomposer en deux forces, l'une verticale, l'autre horizontale, l'effort maximum développé dépend du poids du corps, de l'adhérence sur le sol déterminée par le frottement, et avant tout de sa direction (fig. 142).

Déjà, nous l'avons vu, si le cordon est vertical, la traction diminue l'adhérence du sol, la limite est le poids du corps, la composante horizontale est nulle.

Fig. 141. — Manière de se hisser à la force des bras sans faire un effort égal au poids du corps.

Le cordon C passe sur la poulie P et s'attache en O.

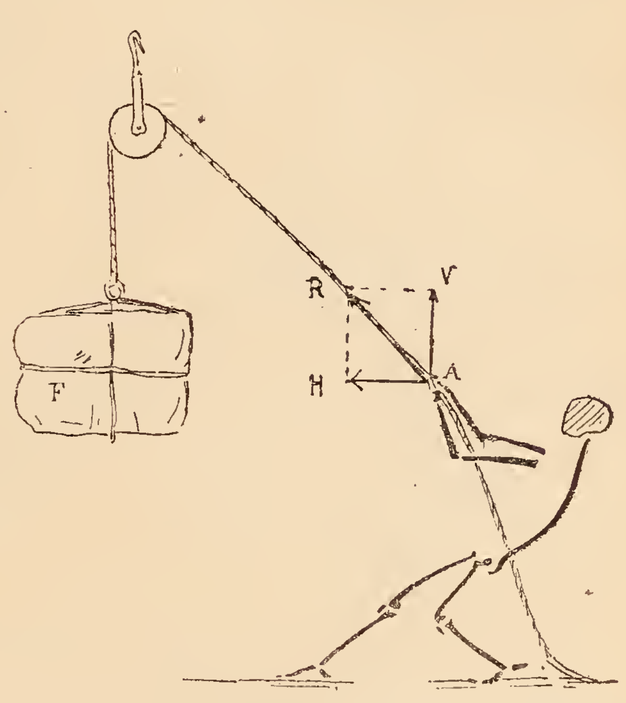


Fig. 142. — Effort oblique de traction sur une corde et composantes de la résistance à vaincre pour élever un fardeau F.

Si le cordon fait avec la verticale un angle de 0 à 90°, la composante verticale diminue jusqu'à 0, c'est-à-dire que la pression du corps augmente sur le sol, elle est égale au poids du corps, quand le cordon est horizontal (fig. 144).

La composante horizontale nulle d'abord augmente et atteint la valeur égale à la traction elle-même. C'est elle qui tend à faire glisser le corps sur le sol si les réactions développées par le frottement des pieds ne lui sont pas égales; on peut en se penchant en arrière faire naître et lui opposer une composante

horizontale du poids du corps dirigée en sens inverse, on peut aussi augmenter le frottement en mettant sous les pieds de la résine.

De 90° à 180° la composante verticale de la traction change de sens, elle s'ajoute au poids du corps pour augmenter la pression sur le sol ; la composante horizontale d'entraînement diminue jusqu'à 0 (fig. 143).

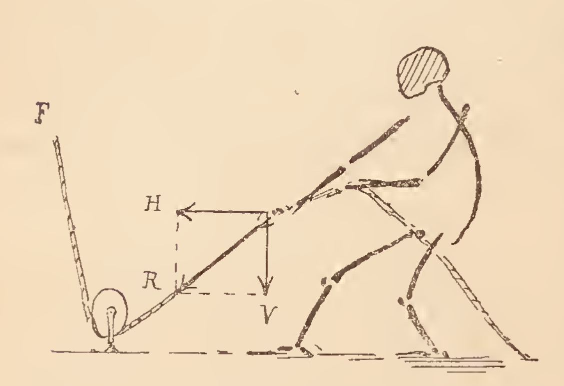


Fig. 143. — Traction sur un cordon oblique passant sur une poulie, composantes de la résistance à vaincre.

Pour ces raisons la limite de traction est reculée en tirant sur une corde dirigée vers le bas ; le maximum a lieu quand le cordon est vertical et attaché au sol.

Au moment où le cordon passe par l'horizontale, les muscles mis en jeu changent de nature ; au-dessous de l'horizontale les fléchisseurs des bras et du tronc étaient la puissance active, au-dessous de l'horizontale, au contraire, l'action des extenseurs des membres inférieurs et du tronc devient tout à fait prépondérante (fig. 144).

L'effort est alors considérable et peut aller en moyenne jusqu'à 135 kilogrammes.

MOUVEMENTS DU CORPS

Rôle des muscles antagonistes dans les divers mouvements : réguliers, vifs, lents et alternatifs. — Tout ce que nous avons dit des attitudes du corps est insuffisant pour comprendre l'effet des mouvements et en analyser le mécanisme. Ne nous occupant que des conditions d'équilibre, nous avons négligé dans nos analyses la masse et l'inertie des membres si importants à considérer dans la vitesse. La plupart des mouvements du corps sont des mouvements alternatifs ou du moins des déplacements des segments partant d'une vitesse nulle pour arriver à une vitesse nulle en passant par des modes de mouvement très variés.

L'action des muscles se complique : par exemple, les muscles moteurs agissant seuls sur l'avant-bras communiqueront à ce dernier un mouvement brusque qui ne fera que s'accélérer

si les antagonistes n'interviennent pour régler à chaque instant la vitesse du mouvement et même l'arrêter à fin de course.



Fig. 144. — Modelé du corps dans une traction énergique sur un câble. On voit la jambe en avant fortement contractée tandis que l'autre est presque relâchée (Figure tirée d'une série chronophotographique).

Nous avons vu la limite naturelle imposée à l'amplitude des mouvements par la structure des articulations. Tout mouvement un peu vif, s'il n'était modéré par les antagonistes aurait pour effet de léser et de disloquer les articulations. Le bras, la jambe, le tronc possèdent une masse plus ou moins grande, il faut un certain temps pour leur communiquer du mouvement et, une fois en mouvement, ces masses en vertu de leur inertie tendent à conserver leur vitesse acquise. A fin de course il faut un frein pour détruire cette vitesse comme il faut une action pour la produire. Un train de chemin de fer ne part pas à toute vitesse

et ne s'arrête pas immédiatement, il lui faut du temps pour prendre sa vitesse et pour la perdre à son arrivée en gare. Les antagonistes remplissent ici le rôle du frein et leur fonction est

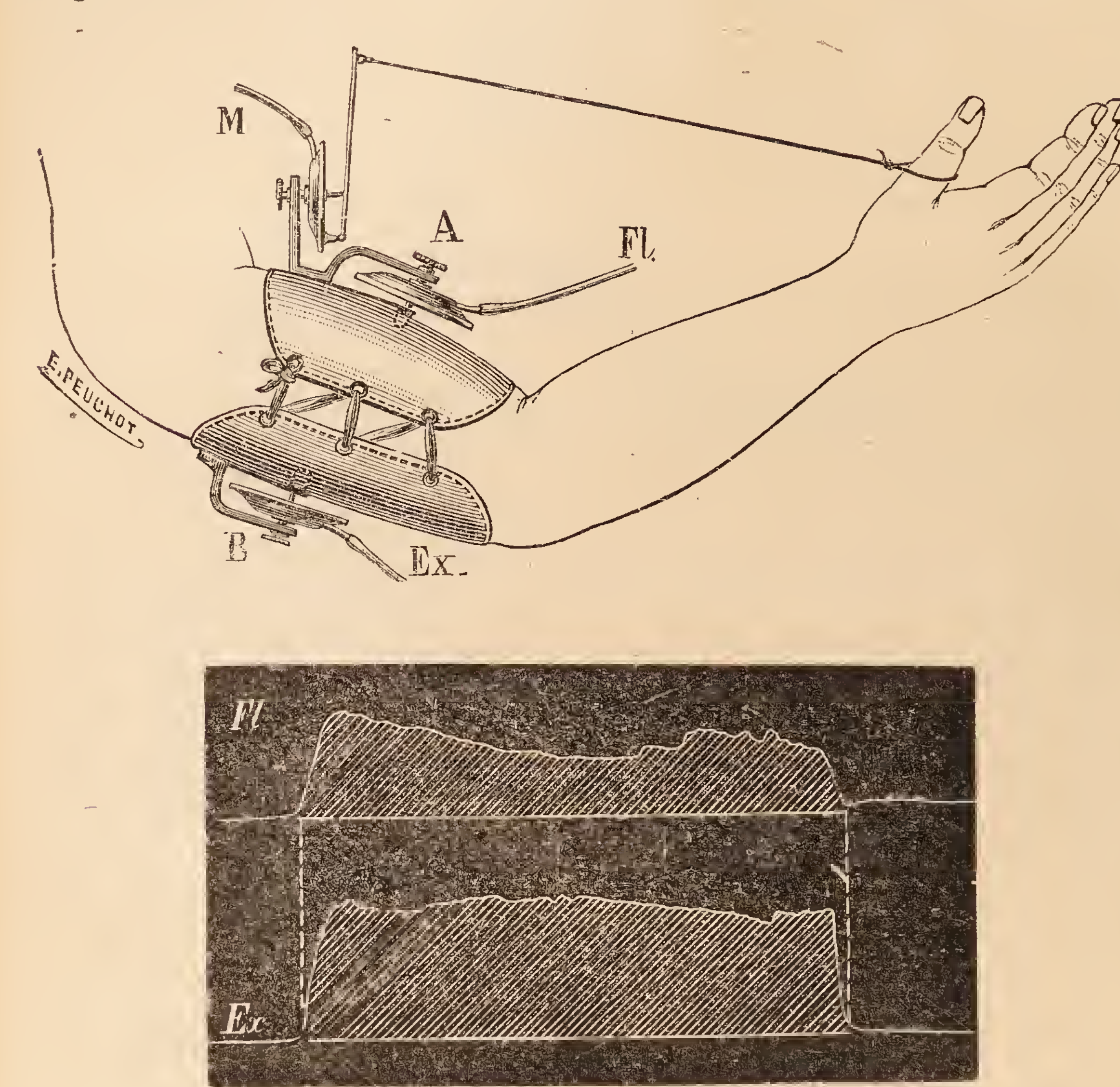


Fig. 145. — Disposition pour l'inscription simultanée du durcissement des muscles fléchisseurs et extenseurs de l'avant-bras et du mouvement de l'avant-bras.

Tracés obtenus dans la contraction statique des antagonistes. Fl, fléchisseurs ; Ex, extenseurs.

surtout remarquable dans les mouvements alternatifs répétés avec vitesse.

Nous avons fait de ce mécanisme une étude toute spéciale[1] dont nous rappelons ici les résultats principaux.

Nous avons étudié le synchronisme d'action des muscles antagonistes dans les trois états qu'ils peuvent présenter pendant leur contraction :

1. Demeny, Du rôle des muscles antagonistes dans les actes de la locomotion, *Archives de physiologie*, 1890-1891.

1° L'état de contraction statique;
2° L'état de contraction avec raccourcissement;
3° L'état de contraction avec élongation.

Contraction statique volontaire des antagonistes. — On peut volontairement contracter synergiquement les antagonistes et immobiliser ainsi l'avant-bras avec solidité. Les tracés obtenus (fig. 145) montrent que les muscles sont dans un état de tension

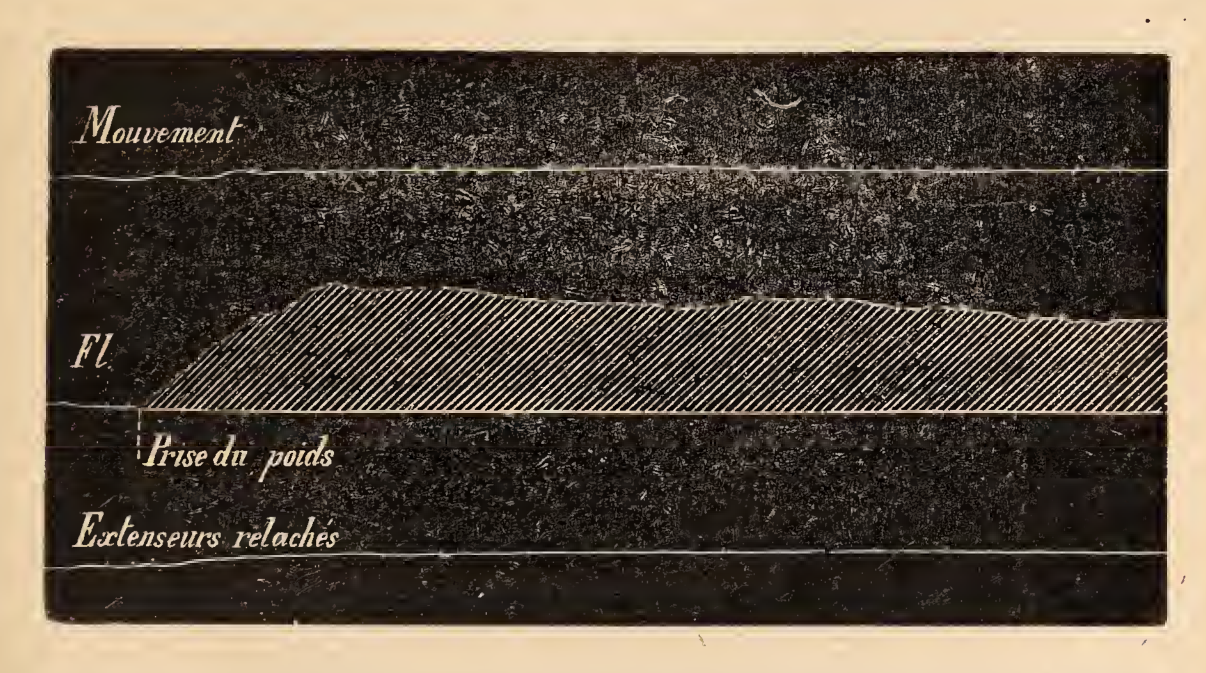


Fig. 146. — Effort statique prolongé des fléchisseurs sous l'influence d'un poids de 10 kilogrammes tenu à la main ; relâchement des extenseurs.

variable; ils réagissent les uns sur les autres et sont le siège de vibrations rapides (Les tracés indiquent le durcissement des muscles).

Cette contraction statique des antagonistes n'a pas lieu lorsque l'on fait agir une résistance extérieure.

Si l'on soutient un poids à la main, l'avant-bras fléchi sur le bras à angle droit, les fléchisseurs entrent en contraction violente, le muscle vibre tant que dure l'effort statique, et les extenseurs sont relâchés (fig. 146).

L'inverse se produit quand on exerce un effort statique d'extension (fig. 147). M. Marey a montré que les vibrations des muscles pendant l'effort statique peuvent être considérablement amplifiées si on relie le poids à la main par une bande élastique.

L'effet de cette bande élastique est de supprimer l'influence de l'inertie du poids soutenu, inertie qui s'oppose aux vibra-

tions de l'avant-bras dans le sens de la flexion. Le nombre des vibrations entières ont été pour nous de quatorze à quinze par seconde.

Le relâchement des antagonistes se produit encore quand on exerce un effort statique contre une résistance quelconque.

Ainsi, si nous immobilisons notre bras en plaçant le coude sur une table, et si, saisissant notre poignet, un aide cherche à produire la flexion ou l'extension de l'avant-bras pendant que

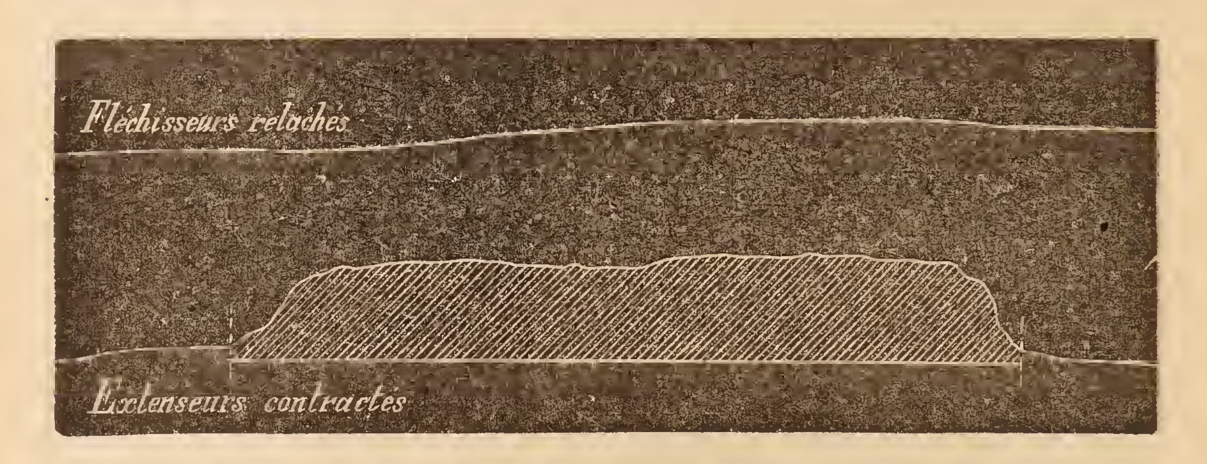


Fig. 147. — Effort statique des extenseurs.

nous résistons statiquement, les fléchisseurs ou extenseurs tombent dans le relâchement (fig. 148).

Il en est de même lorsque le sujet exerce soit une traction, soit une poussée sur un obstacle fixe, par exemple, si le sujet s'appuie sur une table et fait supporter le poids de son corps sur la main, le bras étendu.

Dans le cas (fig. 149) où un poids est porté à la main, le bras étendu, on voit entrer en contraction les fléchisseurs et les extenseurs. L'effet de cette contraction est vraisemblablement de soulager l'articulation du coude et celle de l'épaule, sur lesquelles la traction du poids s'exerce dans toute son intensité.

M. Donders faisait, pour manifester la tension des muscles dans l'effort statique, l'expérience suivante :

Pendant que le bras est fixé, l'avant-bras fléchi et ses fléchisseurs contractés par le maintien d'un poids suspendu par un fil, on coupait subitement le fil et l'on voyait se fléchir l'avant-bras, d'autant plus que le poids était plus lourd, c'est-à-dire plus la tension des fléchisseurs était grande.

Si l'on enregistre les mouvements qui se produisent dans

l'expérience de Donders, on voit (fig. 150), au moment où le

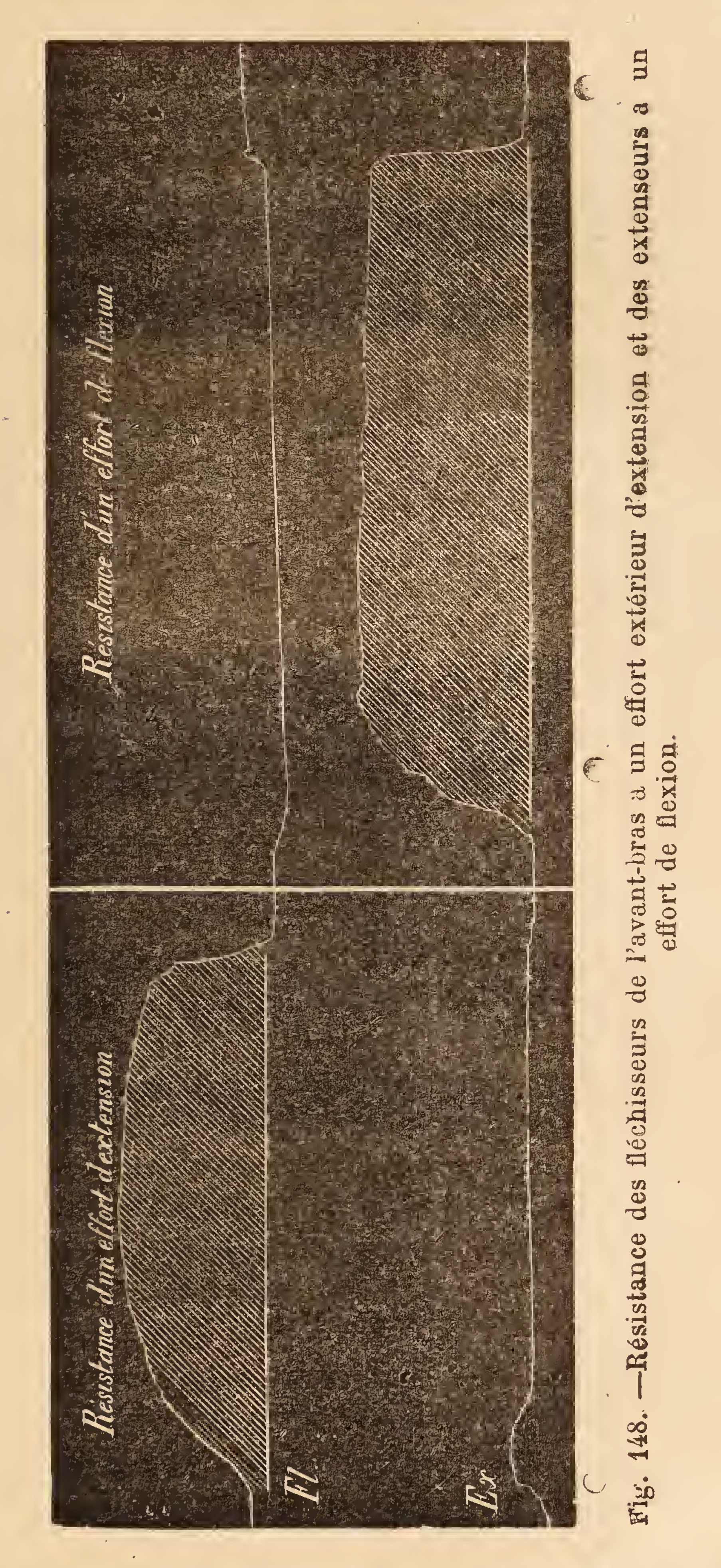


Fig. 148. — Résistance des fléchisseurs de l'avant-bras à un effort extérieur d'extension et des extenseurs à un effort de flexion.

poids cesse son action, les fléchisseurs se relâcher et les exten-

seurs, qui étaient légèrement tendus, augmenter de tension par le fait de leur allongement. Par l'effet de la tension qui existait

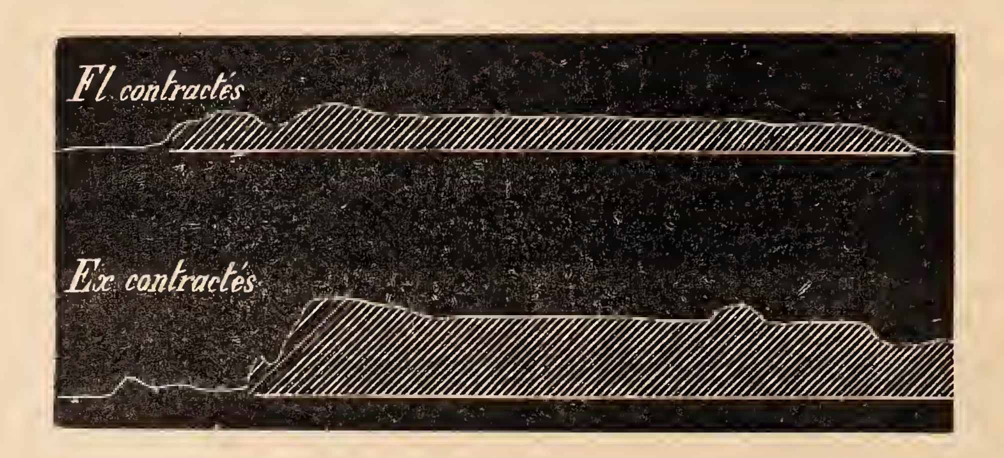


Fig. 149. — Contraction synergique des antagonistes pendant que l'on porte un poids lourd à la main.

dans les fléchisseurs au moment de la rupture du fil, la flexion de l'avant-bras est brusque et les extenseurs entrent soudaine-

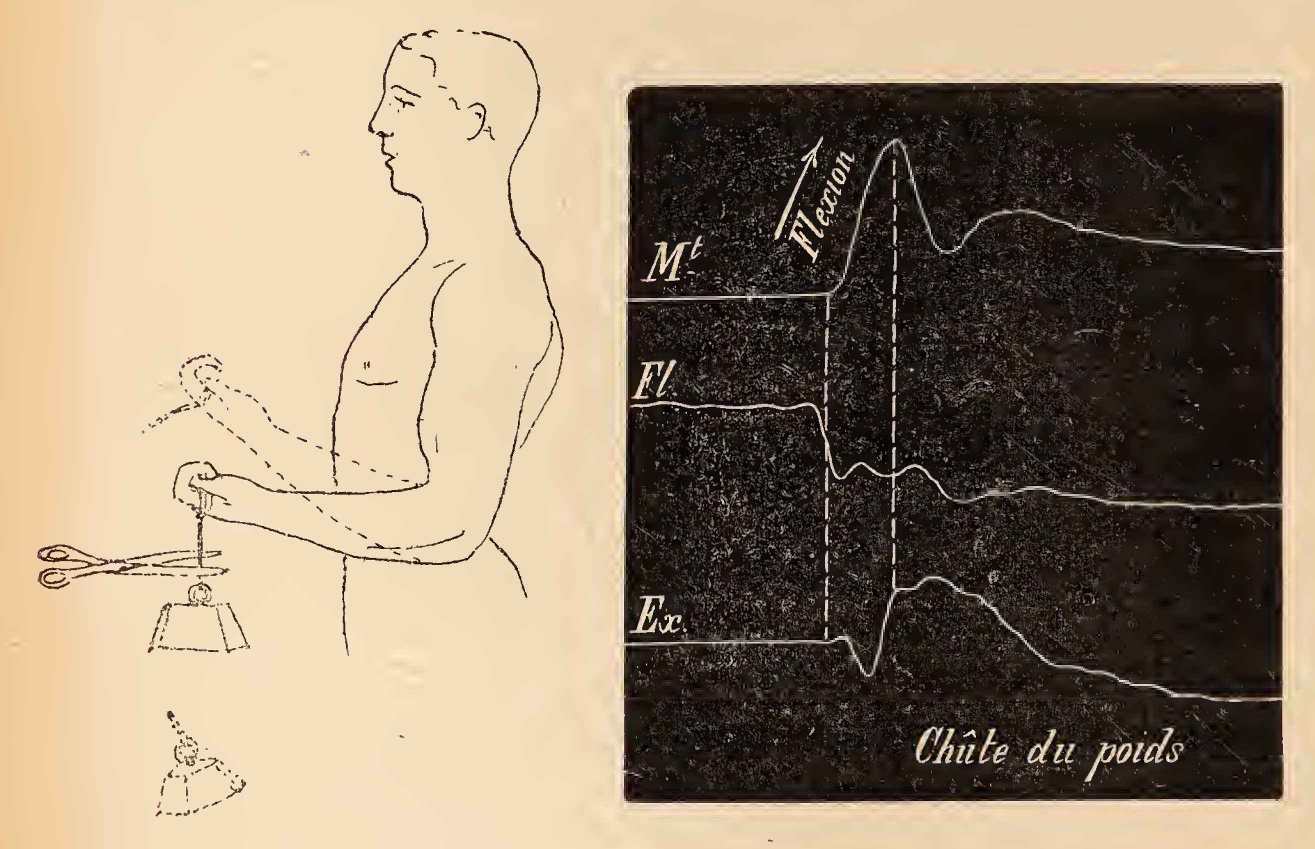


Fig. 150. — Synchronisme d'action des antagonistes au moment de la chute d'un poids tenu à la main au moyen d'un fil que l'on sectionne. (Expérience et tracés.)

ment et violemment en jeu pour arrêter cette flexion et éviter un choc.

On voit ce rôle des extenseurs se manifester aussi, mais

moins brutalement, lorsque l'on se contente de lâcher le poids que l'on tient à la main, après l'avoir soutenu quelque temps dans un effort statique.

Analyse des mouvements naturels. — Lorsqu'on fléchit lentement l'avant-bras sur le bras, les tracés indiquent une tension des muscles fléchisseurs et une tension de leurs antagonistes

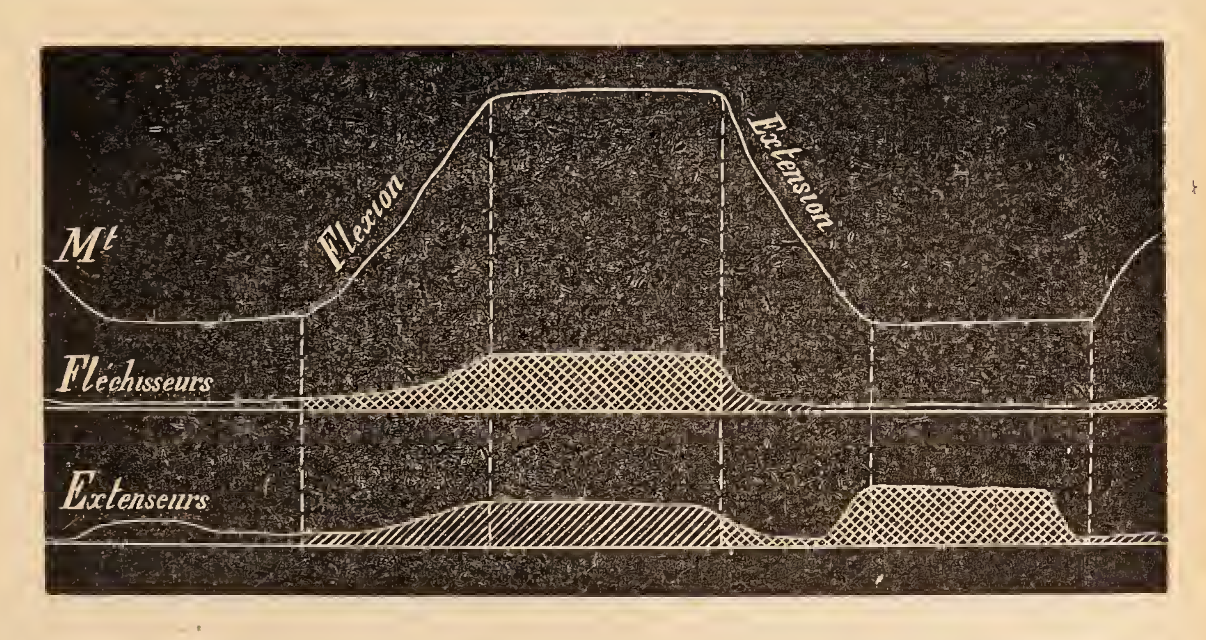


Fig. 151 — Mouvement uniforme de flexion et d'extension de l'avant-bras.

Les courbes de tension restent parallèles. Faut-il conclure de là que, dans le mouvement lent et uniforme, les antagonistes se contractent synergiquement, nous croyons que cela est probable et même nécessaire à l'uniformité du mouvement.

Cependant, nous avons constaté qu'il est possible que, par le seul fait de la distension passive, les muscles accusent une augmentation de dureté. A l'appui de la première opinion, nous pouvons citer les expériences de M. Beaunis, sur des animaux dont les tendons avaient été détachés de leurs insertions mobiles; ces expériences, dans lesquelles l'auteur s'était mis ainsi tout à fait en garde contre l'action réciproque des muscles les uns sur les autres, semblent montrer qu'il y a, en réalité, contraction simultanée des antagonistes. Il est permis de croire, cependant, qu'en excitant les nerfs moteurs par voie réflexe, on se trouve dans le cas d'une action synergique brusque, semblable à celle que nous allons considérer ci-après.

Dans le cas de mouvements très lents, les tracés correspondant à la tension des antagonistes sont presque parallèles, et les

appareils explorateurs sont très peu influencés par le durcissement des muscles.

La figure 151 nous montre des mouvements lents et exécutés avec une vitesse uniforme. On est assuré de cette uniformité, lorsque la ligne du mouvement de flexion ou d'extension de l'avant-bras est une ligne droite. On voit que les extenseurs luttent contre les fléchisseurs pour obtenir cette uniformité

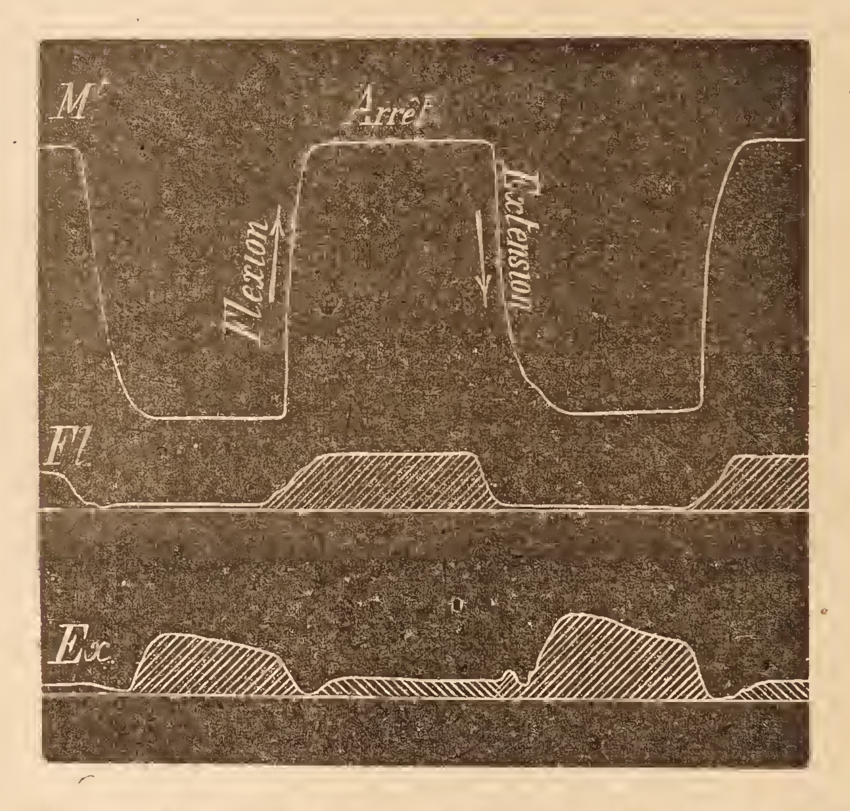


Fig. 152. — Mouvements vifs de flexion et d'extension de l'avant-bras.

et que les extenseurs restent contractés pendant la phase d'extension forcée qui précède la flexion. On sait, en effet, que la position d'extension complète du coude n'est pas une attitude de repos et qu'elle nécessite la contraction des extenseurs.

Plus le mouvement de l'avant-bras est exécuté vivement, plus on voit (fig. 152) l'action isolée des muscles avoir lieu. On remarque que le mouvement de flexion augmentant de vitesse l'intensité d'action des extenseurs devient moindre pendant cette flexion. Leur rôle retardateur devient de moins en moins nécessaire.

La figure montre que dans les mouvements de flexion exécutés de plus en plus vivement, le rôle retardateur des extenseurs diminue de plus en plus.

Mouvements exécutés brusquement. — Dans les mouvements

exécutés très vite, on voit la tension des muscles moteurs croître brusquement et précéder le moment où le mouvement de l'avant-bras se manifeste. Ainsi, dans la flexion brusque, la tension des fléchisseurs est grande au début mais ne se maintient pas ; les extenseurs étirés accusent un petit accroissement de dureté ; puis ils agissent fortement vers le milieu du mouvement pour détruire la vitesse acquise de l'avant-bras ; leur



Fig. 153. — Mouvements de flexion et d'extension de l'avant-bras terminés par un arrêt brusque.

contraction cesse progressivement pendant que celle des fléchisseurs se maintient si l'on conserve l'avant-bras dans la flexion.

Dans l'extension brusque, les choses se passent exactement de même, mais dans l'ordre inverse.

Mouvements brusques avec arrêt subit. — Dans une flexion brusque avec arrêt subit, les extenseurs ont encore une action plus soudaine et plus intense. On voit aussi les fléchisseurs rester contractés pour immobiliser l'avant-bras. L'inverse se produit dans l'extension vive suivie d'un arrêt brusque (fig. 153).

Mouvements exécutés avec des vitesses variables. — Le rôle des antagonistes n'est pas seulement à considérer dans les mouvements lents ou brusques, mais aussi dans des mouvements à vitesse variable.

Nous avons vu le mouvement uniforme produit par la résultante d'actions opposées des antagonistes, actions presque égales. Dans le mouvement accéléré, les fléchisseurs agissent seuls quelque temps, tandis que dans le mouvement retardé les extenseurs (fig. 154) se contractent d'une façon continue et luttent avec un effort croissant contre les fléchisseurs.

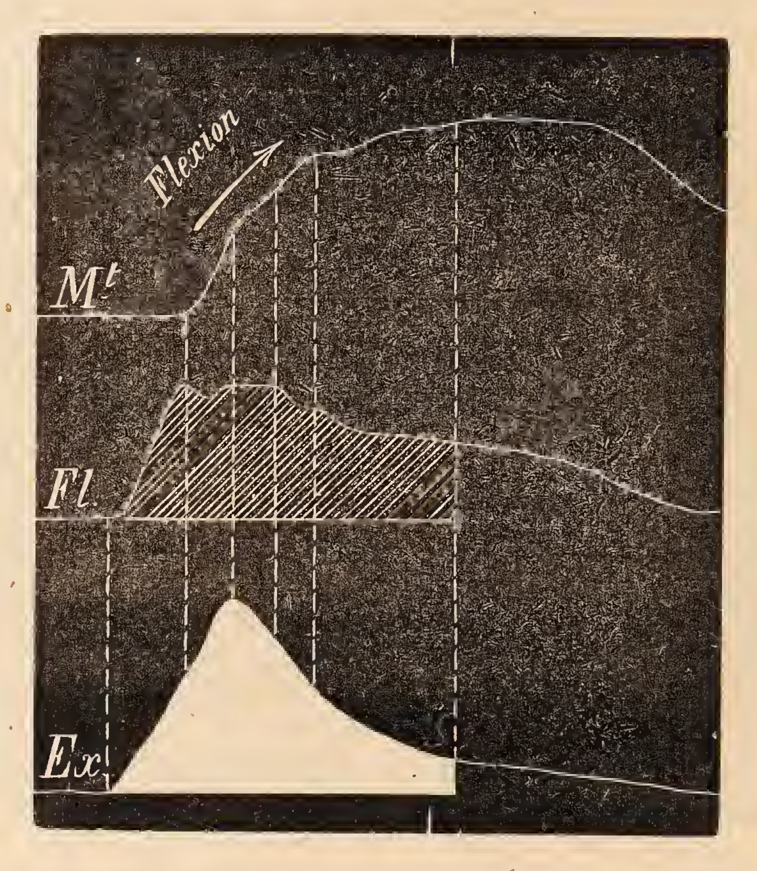


Fig. 154. — Mouvement retardé de flexion de l'avant-bras.

On voit alors la vitesse de flexion diminuer très vite et s'annuler sous l'action retardatrice des muscles extenseurs.

Mouvements contre lesquels on oppose une résistance. — Si l'on exerce sur l'avant-bras un effort d'extension, deux cas peuvent se présenter : ou bien l'avant-bras se fléchit malgré cet effort, ou bien il s'étend passivement.

Ces deux cas correspondent à un travail positif ou à un travail négatif des muscles moteurs. Les fléchisseurs sont, en effet, tantôt raccourcis, tantôt étirés.

Si l'on soutient un poids dans la main, l'avant-bras fléchi, et que l'on diminue la contraction des fléchisseurs, l'avant-bras s'étend, les fléchisseurs sont étirés en restant contractés, et les extenseurs restent relâchés comme dans l'effort statique.

Si l'on exécute successivement une flexion et une extension

de l'avant-bras, la main chargée d'un poids, les fléchisseurs demeurent en contraction tant que dure la flexion, puis quand l'extension commence, ils se laissent étirer en diminuant de tension. Pendant ce temps, les extenseurs restent dans un état de tonicité sans qu'on puisse dire qu'ils soient dans un état de contraction active (fig. 155).

Lorsque saisissant l'avant-bras du sujet en expérience on cherche à produire la flexion ou l'extension pendant qu'il résiste à cette

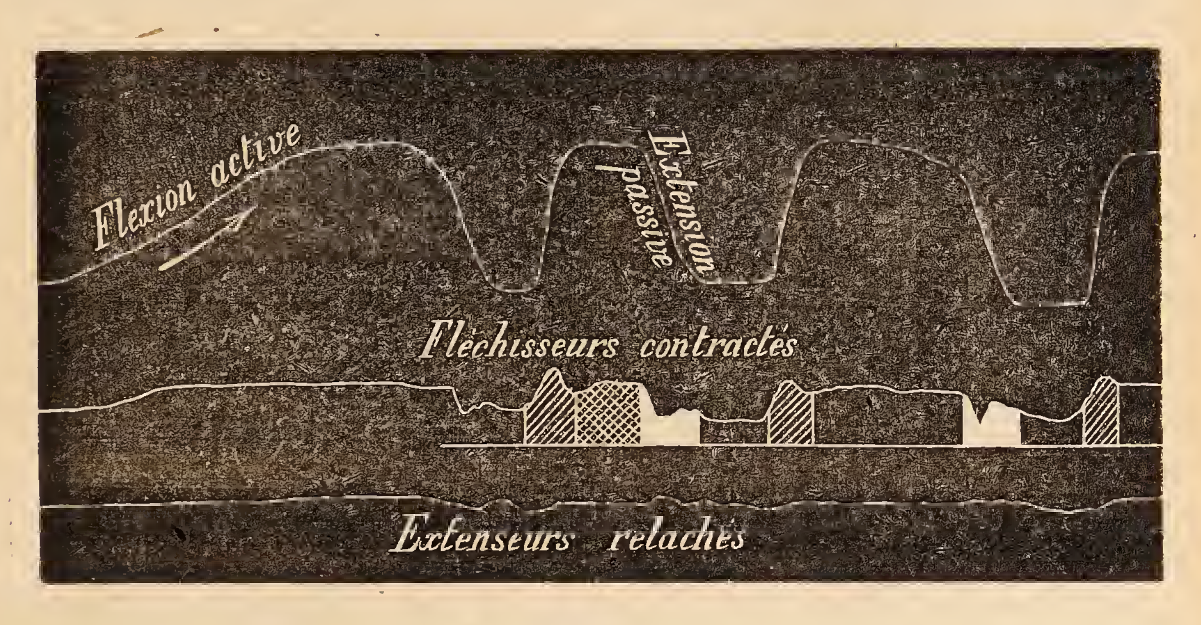


Fig. 155. — Mouvements de flexion et d'extension de l'avant-bras, la main chargée d'un poids.

action par un effort contraire, sans pour cela empêcher le mouvement de se produire passivement, on voit, lorsque le sujet résiste à un effort de flexion, les extenseurs entrer violemment en action pendant que les fléchisseurs tombent dans le relâchement, et inversement, quand le sujet résiste à un effort d'extension.

Si l'on exécute les deux mouvements précédents successivement c'est-à-dire si l'on fléchit par une action extérieure l'avant-bras qui résiste par un effort actif d'extension et inversement, on voit les courbes de tension des muscles fléchisseurs et extenseurs présenter des sinuosités en sens inverse l'une de l'autre. de telle sorte que la courbe de tension des extenseurs suit les inflexions de celle du mouvement de flexion ou d'extension. Le rôle des muscles est alors l'inverse de ce qui se passe dans les mouvements naturels ; les extenseurs se contractent quand la flexion se produit, et les fléchisseurs agissent quand l'extension a lieu.

Au contraire, si les muscles fléchisseurs agissent avec assez d'intensité pour vaincre l'effort extérieur d'extension, on les voit se contracter en même temps que se produit la flexion, tandis que les extenseurs se relâchent ; les courbes du mouvement et celles de la tension des fléchisseurs offrent alors des inflexions de même sens. Dans le cas où l'on exerce un effort

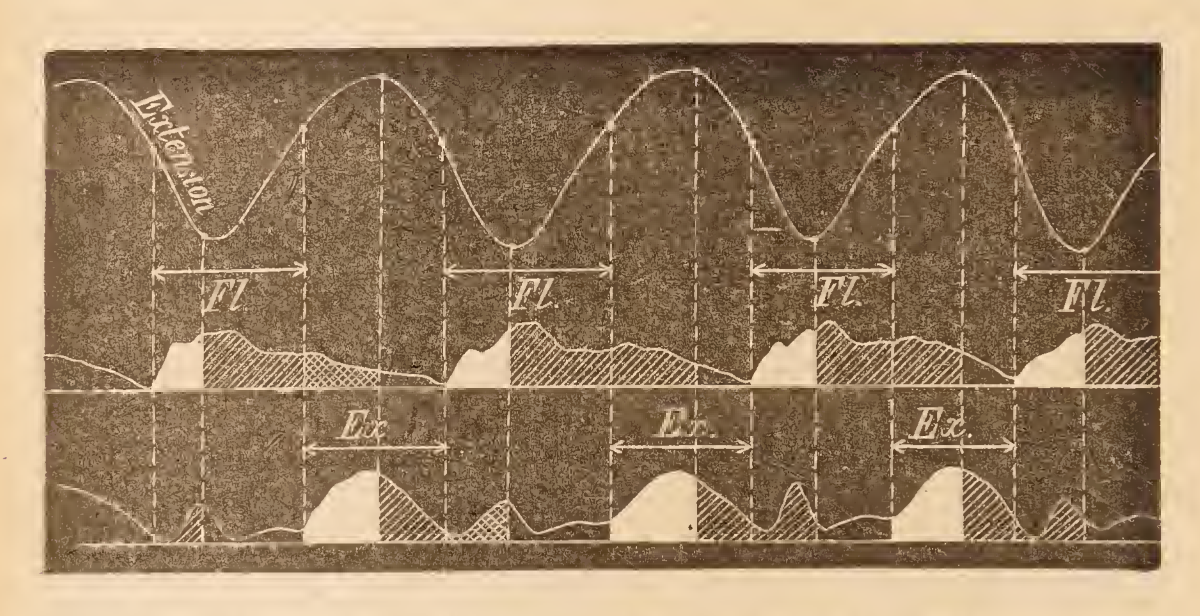


Fig. 156. — Mouvements vifs de va-et-vient.

Remarques. — Les parties teintées de hachures indiquent les phases de travail positif des muscles. — Les parties couvertes d'une teinte uniforme indiquent les phases du travail résistant. — Les parties laissées en noir correspondent aux phases d'étirement des muscles sous l'action de leurs antagonistes (Cette passivité n'est que supposée, mais elle est très probable.)

extérieur de flexion, ce sont les fléchisseurs que l'on voit se relâcher.

Mouvement continu de va-et-vient. — Dans le début du mouvement continu de flexion et d'extension on remarque que la tension des fléchisseurs s'accroît très vite, que les extenseurs étirés accusent aussi un durcissement croissant. Puis on voit la tension des fléchisseurs baisser pendant que celle des extenseurs s'élève. Les extenseurs arrivent au maximum de leur dureté avant que l'extension ait commencé. Pendant l'extension les fléchisseurs se détendent pour se contracter un peu avant la fin du mouvement. Cette contraction est accompagnée d'une augmentation de la tension des extenseurs ; cette augmentation a lieu à fin de course, les fléchisseurs redoublent leur action à ce moment et ainsi de suite.

On voit dans la figure 156 que la succession des contractions musculaires forme une période semblable à celle des mouve-

ments de flexion et d'extension ; mais on remarque que cette



Fig. 157. — Modelé des membres inférieurs dans la marche pendant l'appui et le lever du pied.

période est tout entière en avance d'une quantité égale à la

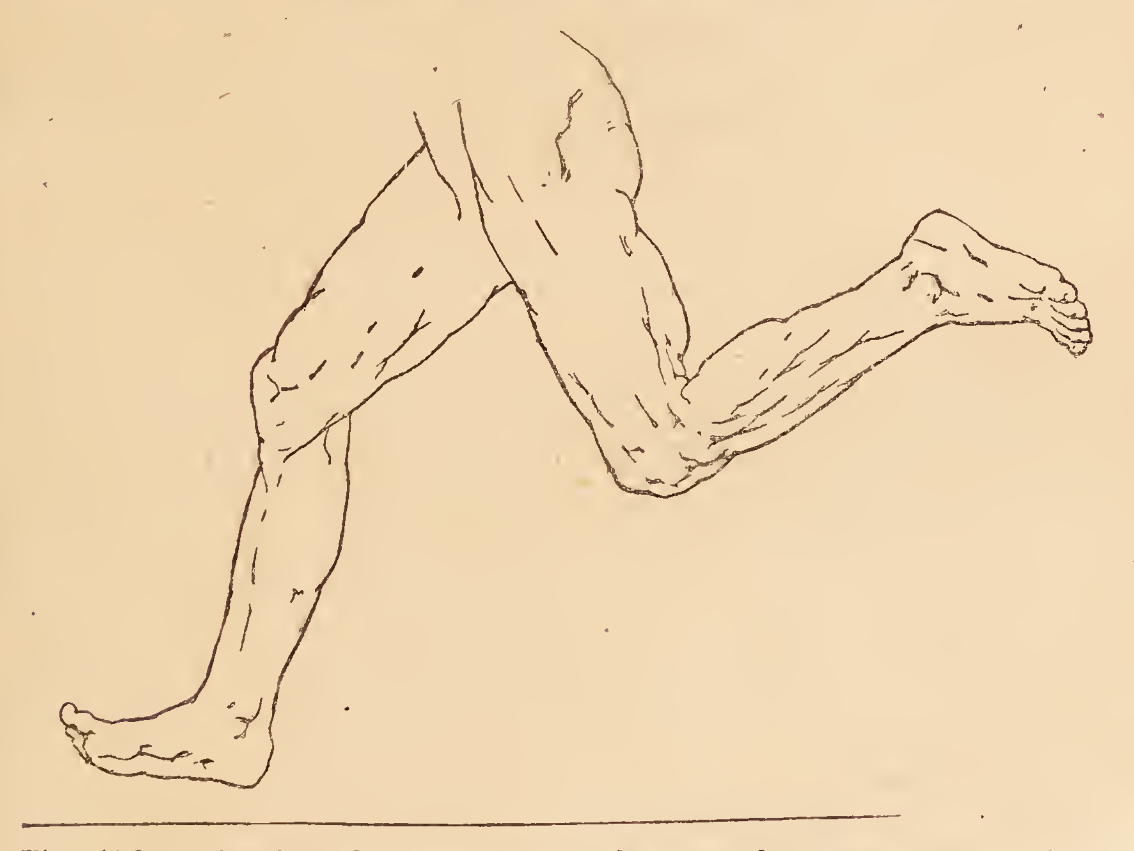


Fig. 158. — Modelé des membres inférieurs dans une course vive.

demi-durée d'un mouvement complet de flexion ou d'extension. L'action des muscles fléchisseurs ou extenseurs précède donc

les mouvements de flexion ou d'extension de tout ce demi-intervalle.

Nous tirerons de cette importante remarque des conséquences intéressantes pour l'intelligence du mécanisme des mouvements.

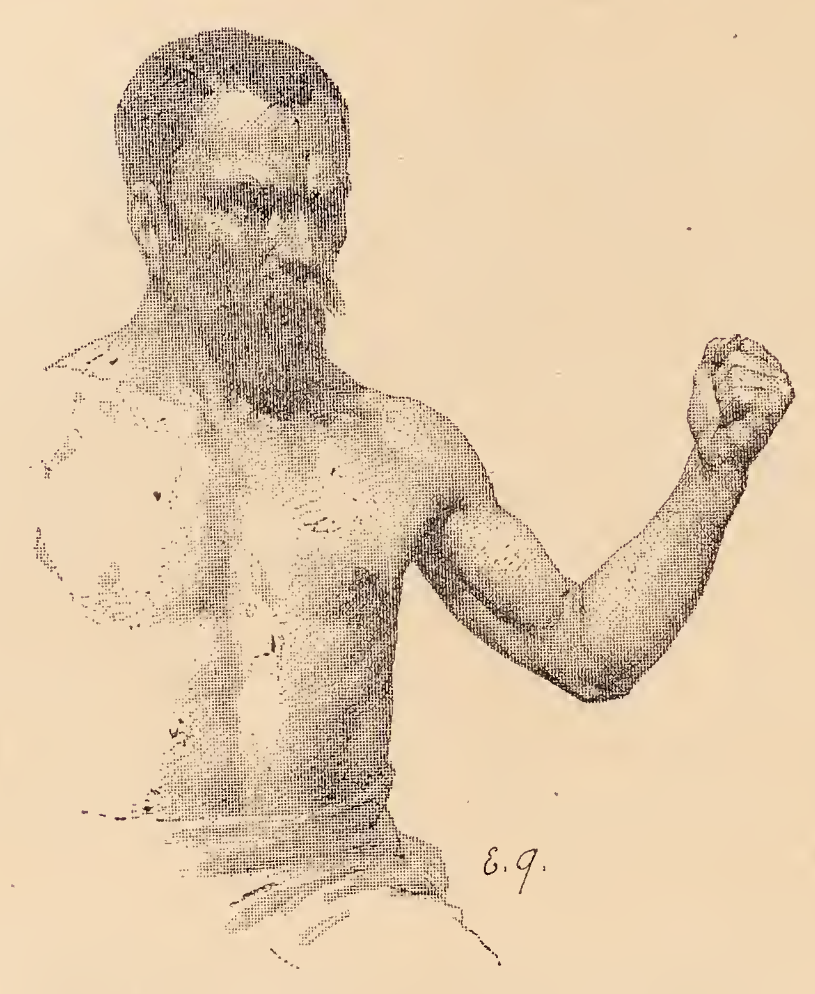


Fig. 159. — Modelé d'un bras qui se fléchit.

Conclusions. — En résumé, dans les contractions statiques énergiques, les antagonistes se contractent synergiquement soit pour immobiliser solidement un segment osseux, soit pour empêcher la disjonction des surfaces articulaires quand les deux segments sont dans le prolongement l'un de l'autre.

Si l'on résiste statiquement contre un effort qui tend à produire la flexion ou l'extension, les antagonistes de ce mouvement se relâchent.

Les antagonistes se relâchent aussi pendant le mouvement toutes les fois qu'une résistance extérieure agit dans le sens de leur action, que cette résistance extérieure soit vaincue ou non par les muscles qui luttent contre elle, que ces muscles se raccourcissent ou bien subissent une élongation.

Dans les mouvements naturels il y a, en général, synergie des antagonistes.

Dans les mouvements à vitesse lente et uniforme il y a action simultanée des antagonistes.



Fig. 160. — Modelé d'un bras qui s'étend vivement.

Dans les mouvements à vitesse variable, les antagonistes agissent comme modérateurs de la vitesse et entrent en jeu un peu avant que le mouvement ait cessé ou changé de sens.

Les antagonistes réagissent les uns sur les autres passivement, par l'intermédiaire des os.

Nous tirerons des observations précédentes quelques applications utiles à l'intelligence des actes musculaires complexes de la locomotion en général.

Relations entre la forme extérieure du corps et le mouvement. — Les contractions musculaires se répartissent donc en raison du mouvement voulu et de même qu'il y a des lois qui régissent l'attitude de l'homme, de même aussi il y a une rela-

tion exacte entre la forme des différentes parties du corps et la nature du mouvement exécuté[1].

Le repos est caractérisé par le relâchement des muscles et par la mollesse des formes. Dans l'effort statique, les saillies musculaires s'exagèrent.

Dans l'effort avec mouvement, les reliefs augmentent aussi ;

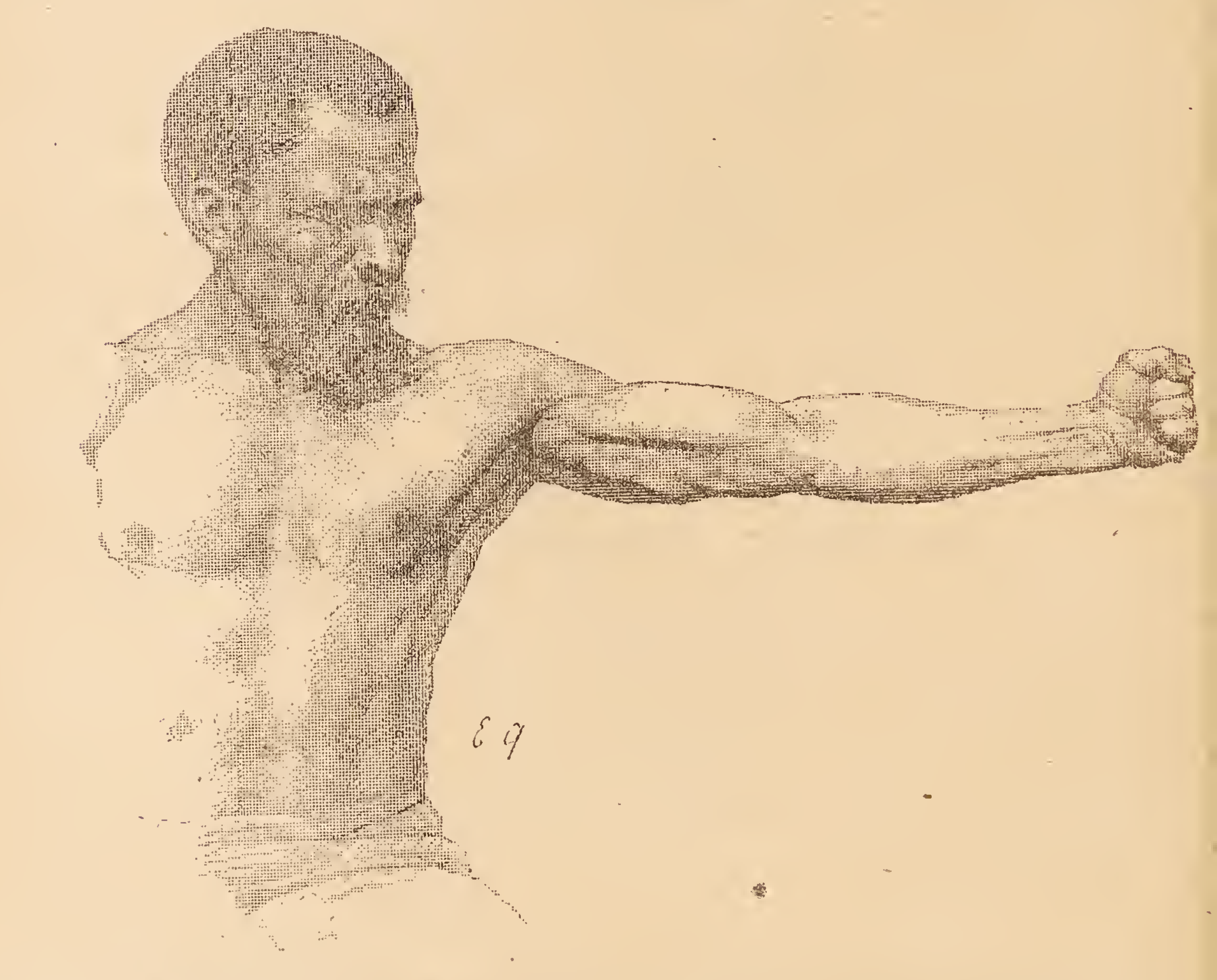


Fig. 161. — Modelé d'un bras qui s'étend et reste étendu comme dans le coup de poing.

mais ils présentent un autre aspect que dans les contractions statiques. Chaque phase du mouvement possède sa forme correspondante et cette forme est constante pour la même espèce de mouvement et la même phase observée (fig. 157 et 158).

La jambe d'un marcheur n'a pas la forme de la jambe d'un coureur. La jambe qui soutient le poids du corps pendant l'appui du pied ne ressemble en rien à celle qui oscille. Le modelé du bras qui se fléchit n'est pas celui du bras qui s'étend. Le modelé d'un bras qui se fléchit et s'étend par un mouvement

1. Demeny, De la forme extérieure des muscles de l'homme, dans ses rapports avec les mouvements exécutés, *Académie des sciences*, 9 novembre 1891.

continu de va-et-vient n'est pas non plus celui d'un bras qui s'étend brusquement pour s'arrêter ensuite. Ainsi, il y a des formes caractéristiques du repos, de l'effort statique et de l'état dynamique des muscles de l'homme[1] (fig. 159, 160, 161 et 162).

En brandissant une hache on n'a pas la même attitude que lorsqu'on l'abaisse. On voit clairement dans les figures 170 et 171

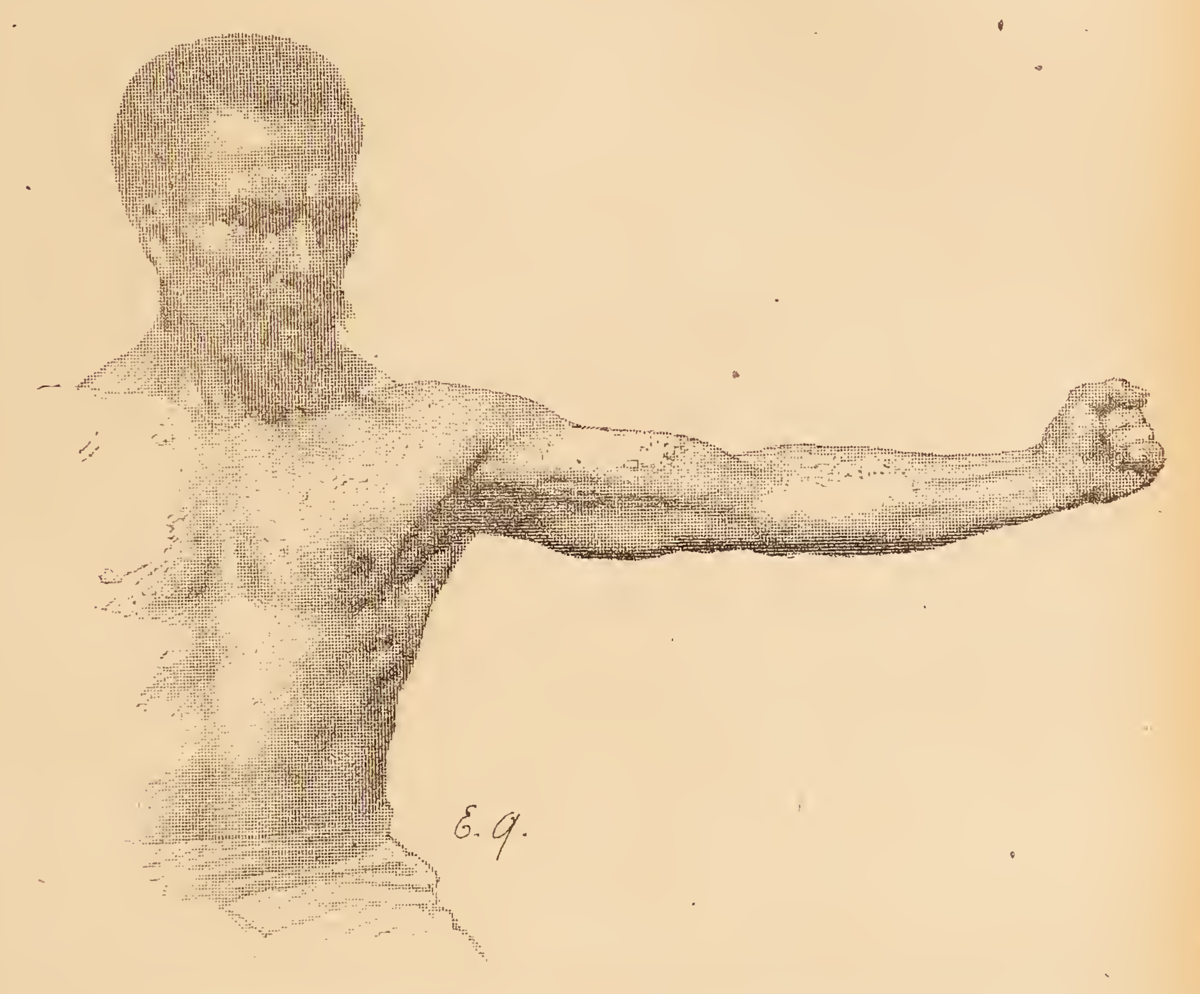


Fig. 162. — Modelé d'un bras qui s'étend pour se fléchir immédiatement après.

reproduisant exactement des photographies du mouvement la différence entre les deux attitudes. L'effort est visiblement un effort d'extension en levant la hache et un effort de flexion en l'abaissant.

La figure 144 montre la différence de modelé d'une jambe qui pousse avec la jambe relativement peu active dans un effort de traction. Les figures 168 et 188 montrent la propagation des contractions musculaires dans tout le corps dans un effort violent.

Les artistes en s'inspirant de ces vérités pourraient peut-être

1. Marey et Demeny, *L'homme en mouvement, Études de physiologie artistique;* Paris, Société d'éditions scientifiques, 1893.

donner à la représentation du mouvement une forme plus variée plus expressive et plus vraie que de se borner à copier des modèles au repos. M. Paul Richer a repris ces études commencées par nous depuis longtemps et a cherché à les développer avec le concours de M. Londe.

Exercices de force et exercices de vitesse. — Les muscles peuvent produire du travail sous forme d'efforts statiques ou sous forme de vitesse, à ces deux formes correspondent deux genres d'exercices bien différents. Nous avons vu à propos de l'effet hygiénique comment la dépense en travail met en jeu l'activité générale de la nutrition, et comment les efforts statiques, tout en développant le système musculaire, peuvent apporter des troubles dans le fonctionnement des organes circulatoire et respiratoire (*Bases scientifiques de l'Éducation physique*).

La force statique énergique demande des muscles courts et trapus, à insertions assez éloignées des articulations et à leviers osseux très courts. La vitesse au contraire demande des muscles longs et de longs leviers. La vitesse c'est de la force et avec de la force on peut faire de la vitesse, c'est une manière différente d'utiliser l'énergie dont on dispose. Avec le même générateur de vapeur on peut mouvoir une locomotive destinée à la traction avec des pistons de grand diamètre, de petites manivelles et de petites roues motrices ou une locomotive express avec de grandes manivelles et de grandes roues. Mais on ne pourra intervertir les rôles et atteler la locomotive de grande vitesse à un train de marchandises. Ce serait atteler un cheval de course à la charrue ou faire courir un cheval de brasseur. La force pour être bien utilisée doit s'exercer au moyen de machines convenablement choisies. *Ce que l'on gagne en force on le perd en vitesse.*

Pour acquérir de la vitesse dans certains exercices, il faut d'abord avoir un système nerveux capable de décharges promptes, il faut être *vite* et cela ne s'acquiert point. Il y a des gens lambins qui seront toujours lents dans leurs mouvements comme dans leurs décisions ; ils auront beau faire, leur organisation est ainsi faite, ce sont des machines à explosions lentes comme à réactions lentes. De ce côté donc rien à espérer au point de vue éducatif, mais s'il s'agit d'utiliser sa force en vitesse, c'est autre chose, et nous avons tout à apprendre. La pointe de

l'épée va droit au corps parce qu'elle est à la suite de longs segments qui se détendent, que toutes les extensions du bras, du tronc, de la jambe se font simultanément et s'ajoutent pour gagner toujours du terrain et percer la ligne de défense (fig. 163).

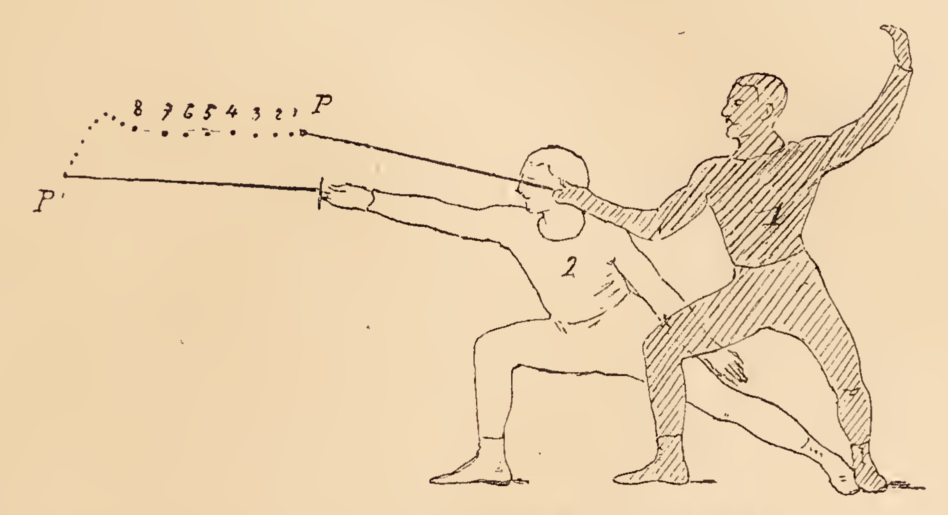


Fig. 163. — Analyse d'un coup d'épée.

La pointe P décrit dans l'espace une trajectoire, les positions 1 2 3 4 5... 8 correspondent à des cinquantièmes de seconde. — 1, Position de la garde, — 2, fente.

Mesure de la vitesse d'un coup d'épée. — La pointe de l'épée va toujours trop vite pour en estimer la vitesse à l'œil, mais nous avons pu, dès 1890, mesurer exactement cette vitesse en appliquant aux exercices physiques les procédés de la chronophotographie sur plaque fixe imaginés par M. Marey[1]. Nous avons ainsi trouvé pour un coup d'épée une durée de 19/50 de seconde. Mais le coup était donné à vide il aurait fallu beaucoup moins de temps pour toucher: 9 à $\frac{10}{50}$ c'est-à-dire $\frac{1}{5}$ de seconde à peine. La vitesse de la pointe atteignait $3^{m},12$ à la seconde. On voit combien la parade doit être vive pour éviter le coup porté.

Il faut déjà 1/10 de seconde pour voir ce dernier, prendre une décision et commencer la parade. C'est la valeur moyenne de l'erreur personnelle ou temps de réaction. Si on retranche cette durée de celle du coup d'épée il ne reste plus qu'un dixième de seconde pour exécuter la parade et riposter ensuite. On voit combien les natures vives ont d'avantages sur les autres quand il s'agit de se décider et d'agir dans des temps aussi courts[2].

1. G. Demeny, La vitesse d'un coup d'épée, *La Nature*, 11 octobre 1890.
2. Voir note 1 à la fin du volume.

Vitesse du coup de poing. — Dans la boxe, la vitesse du coup de poing s'obtient comme dans l'escrime par la détente simultanée de la jambe et du bras. Ici deux écoles : l'école française et l'école anglaise. Le coup de poing enseigné à l'école de Joinville-le-Pont consiste à retirer d'abord le poing en arrière puis le lancer en avant avec toute la vitesse possible en restant fendu (fig. 164).

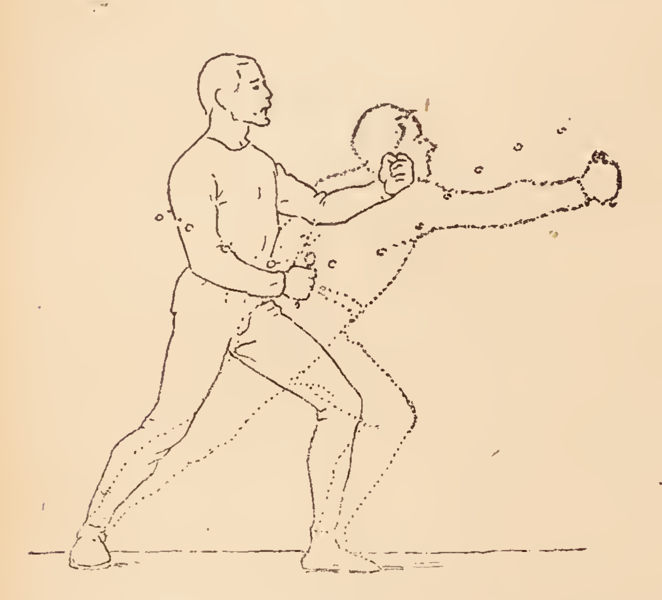


Fig. 164. — Analyse chronophotographique du coup de poing en 50e de seconde.

En opérant comme pour le coup d'épée[1], j'ai constaté qu'il faut 8/50 de seconde pour retirer le poing à 45 centimètres en arrière et 11/50 de seconde pour le projeter de 75 centimètres en avant. Durée totale du coup de poing 19/50 de seconde; espace total parcouru, 1^m,20 y compris le retrait ; vitesse maximum du poing 13 centimètres en 1/50 de seconde un peu après avoir dépassé la ceinture. Le boxeur reste fendu et ne quitte pas les pieds de terre.

Dans la boxe anglaise, au contraire, le tireur est peu fendu dans la position de la garde; il ne retire pas le poing en arrière avant de donner le coup, il supprime ce temps perdu. Pour acquérir toute la vitesse possible, il se fend en avant au moment de la détente du bras et fait coïncider cette détente avec une projection du corps tout entier (fig. 165). On voit dans cette figure le pied d'arrière se substituer à celui d'avant pendant la garde. Le corps se déplace encore en avant de quelques centimètres en glissant sur le sol par la violence du coup, tant est grande la vitesse communiquée à la masse entière du corps.

Dans ces conditions la vitesse du coup de poing a été de 8/50 de seconde, l'espace parcouru par le poing 90 centimètres, vitesse maximum 17 centimètres en 1/50 de seconde, c'est-à-

1. G. Demeny, La vitesse du coup de poing, *La Nature*, 11 octobre 1890.

dire 8 mètres à la seconde au lieu de $6^m,50$ pour le précédent et $3^m,12$ pour l'épée.

La durée totale du coup de poing a été 8/50 de seconde, c'est-à-dire égale au temps mis par le premier boxeur suivant la méthode classique pour retirer seulement le poing en arrière.

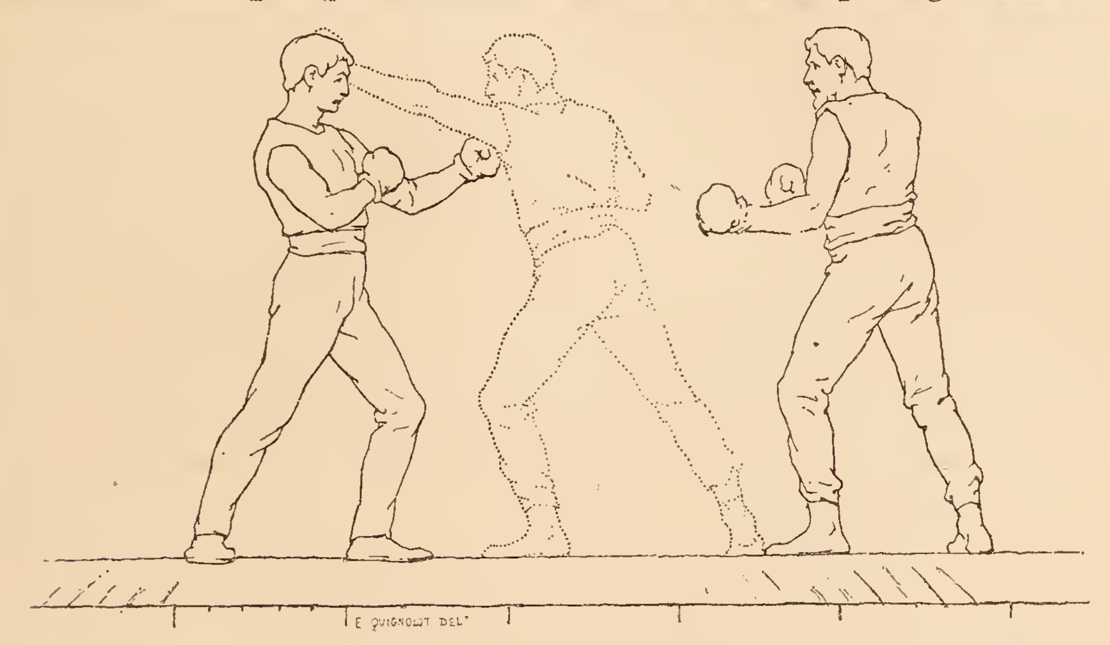


Fig. 165. — Coup de poing avec sursaut de la boxe anglaise.

Si l'on mettait donc ces deux boxeurs en présence sans modifier leur méthode, le boxeur classique aurait été touché deux fois avant que son poing ait eu le temps de porter. C'est là une infériorité de la méthode. Sur les 19/50 de seconde que dure son coup de poing, il en perd 11/50 pour retirer le poing en arrière et le ramener jusqu'à la position initiale. A partir de ce moment, le véritable coup de poing ne dure que 7/50 de seconde[1].

Coup de pied. — La détente du coup de pied est très brève aussi, le coup de pied direct, coup de pied de flanc et coup de pied bas sont produits par l'extension rapide de tous les segments du membre inférieur. La masse de ce dernier ne permet pas d'acquérir cependant la vitesse du coup de poing (fig. 164). Le coup de pied bas et le coup de pied de flanc agissent uniquement par une extension du membre de telle sorte que si l'on manque de touche ou si l'on touche trop loin, leur effet est nul ou peu de chose; le coup de pied direct agit en vertu de la vitesse angulaire des segments, cette vitesse se conserve dans un rayon plus étendu.

1. La vitesse du coup de poing mesurée par des procédés électriques. (G. Demeny, *L'École française*. Fournier, éditeur.)

Vitesse d'un coup de canne. — Les exercices de canne sont un exemple d'exercices où la vitesse est la qualité la plus importante à acquérir. Les coups sont moins variés et moins fixes que dans l'escrime, ils se rapprochent de l'escrime au sabre. En dehors des coups de bout, le coup de canne se donne le plus

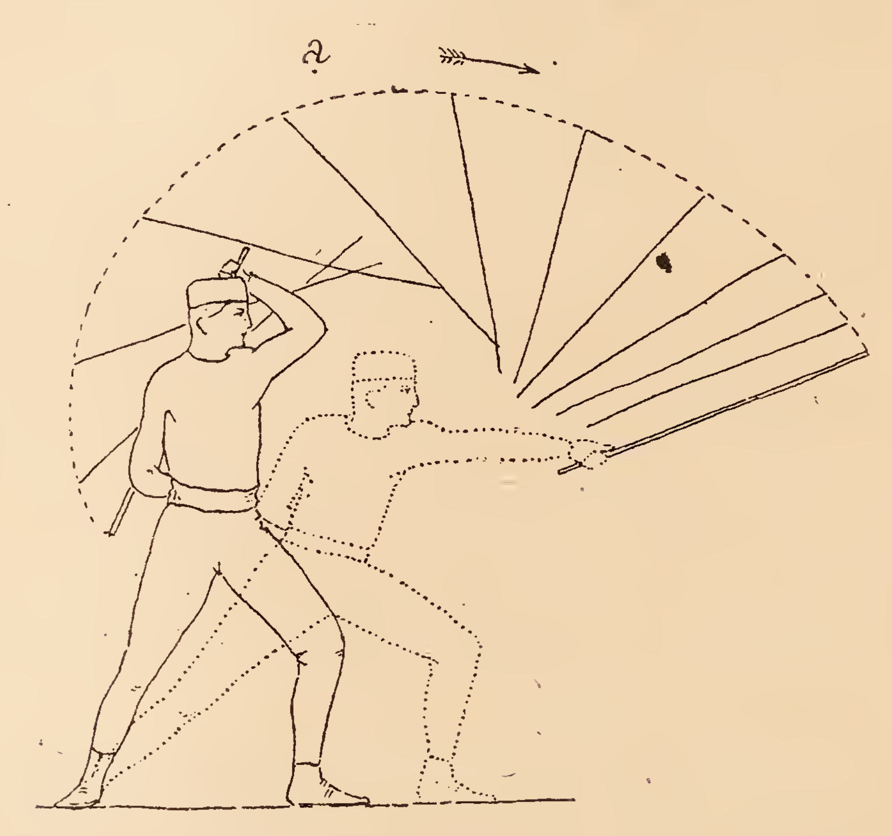


Fig. 166. — Analyse chronophotographique du coup de bâton direct. On voit le maximum de vitesse de la pointe avoir lieu en *a*.

souvent à plat, en fouettant et son effet est d'autant plus sérieux que la vitesse de la canne est plus grande au moment du toucher. On donne le coup de canne de deux façons. Le coup simple est un abaissement violent de la canne; le coup composé est le coup simple précédé d'un moulinet (fig. 166, 167 et 168).

La vitesse acquise par l'extrémité de la canne dépend ici du mouvement de rotation et de la longueur de la canne. Pour une canne de $1^m,15$ nous avons constaté des vitesses de $32^m,50$ à la seconde dans les deux cas. Il semblerait donc que les moulinets préparatoires ne donnent pas d'avantages au point de vue de la vitesse; on aurait pu penser que, pendant le moulinet, la vitesse de la canne s'accélérait et donnait ainsi au coup un caractère plus dangereux. Il n'en est rien, la masse de la canne est assez légère pour obéir vite à l'action musculaire.

Coup de marteau. — Au contraire, s'il s'agit de manier une masse lourde, un marteau de forge, on lui fera acquérir sa vitesse par une longue trajectoire ce qui lui donnera le temps de s'accélérer sans trop de dépense de force. La finale de la trajectoire aboutissant à l'enclume a une direction vers le sol,

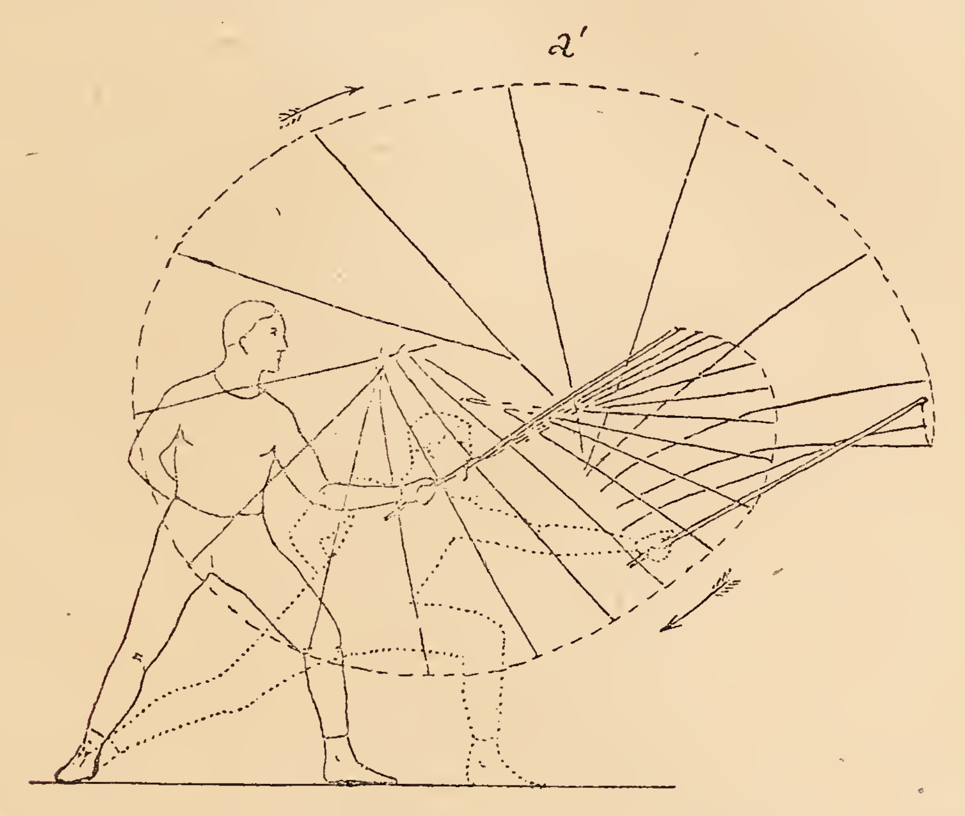


Fig. 167. — Coup de bâton avec un moulinet; le maximum de vitesse en a n'atteint pas une valeur plus grande que dans le cas précédent.

la pesanteur du marteau agit encore dans le sens voulu pour augmenter la vitesse d'où dépend l'intensité du choc (fig. 169, 170 et 171).

Ainsi le marteau et la canne sont des exemples où la vitesse s'acquiert par des chemins détournés qui donnent le temps au mouvement de s'accélérer. Ces analyses doivent être faites sur des coups frappés et non retenus.

Manière de lancer un projectile. — Il y a encore une troisième manière de produire de la vitesse, on l'emploie pour lancer une pierre ou un javelot, pour sauter ou exécuter des actes brusques et à détente instantanée. Nous en trouvons un exemple plus simple dans la chiquenaude. Si nous pouvons lancer une boulette de papier avec le doigt cela tient à la tension de nos muscles extenseurs bandés comme un ressort. Sans cet acte préalable aucune détente, aucune force de pro-

jection. Quand nous lançons une pierre nous faisons un mouvement préparatoire, nous rejetons le bras en arrière, puis



Fig. 168. — Coup de bâton très énergique (MAREY et DEMENY, *Études de physiologie artistique*).

brusquement nous changeons le sens du mouvement pour abandonner ensuite la pierre avec la vitesse communiquée par le bras (fig. 172 et 173).

Le changement brusque de direction de celui-ci a pour effet de tendre très énergiquement les muscles utiles au lancer. La

vitesse initiale dépend justement de la force accélératrice ; on conçoit l'avantage de commencer le mouvement avec un effort considérable de tension des muscles moteurs. Dans tout changement de sens des mouvements, nous avons vu l'intervention anticipée des antagonistes avoir pour effet, en retardant le mouvement, de leur faire acquérir d'abord une tension considérable. C'est sous l'influence de cette tension que va commen-

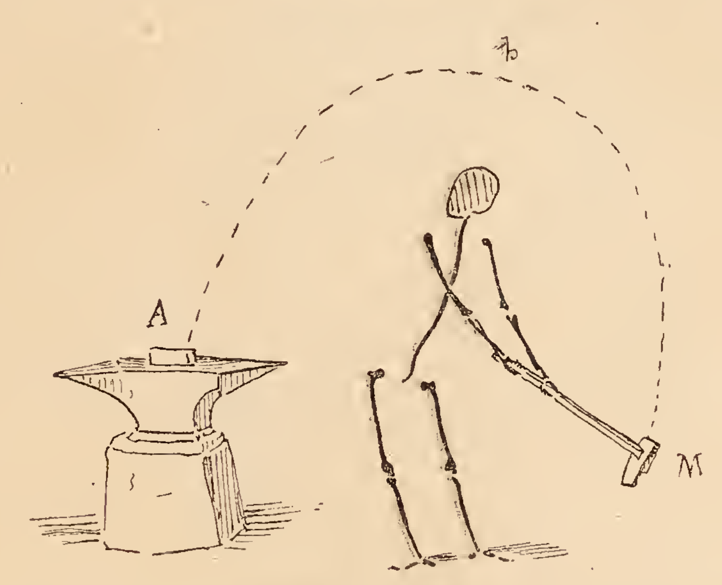


Fig. 169. — Trajectoire de la masse du marteau allant frapper l'enclume en A. La main se déplace le long du manche pour économiser l'effort.

cer l'oscillation en sens inverse. Ce changement de sens dans la vitesse est d'autant plus brusque que l'action des muscles est plus intense au moment de l'arrêt, c'est-à-dire que l'énergie déployée par les antagonistes pour annuler la vitesse première a été plus grande (fig. 174 et 175).

Le mouvement de retirer le poing en arrière, fautif pour la boxe, devient ici pour lancer une pierre ou un javelot la qualité indispensable du coup ; nous verrons des exemples analogues dans la course et le saut[1].

La vitesse de la pierre est acquise par les mouvements angulaires du bras et de l'avant-bras ; il faut à chacun de ces segments une vitesse angulaire spéciale pour faire décrire à la main une trajectoire convenable et lui donner la vitesse maximum. Grâce au mouvement circulaire, la pierre tend à s'échapper en vertu de son inertie suivant la tangente à la trajectoire décrite. La grande difficulté est de la lâcher au moment oppor-

1. G. Demeny, Du rôle mécanique des antagonistes dans les actes de la locomotion, *loco citato*.

tun, c'est-à-dire lorsque la vitesse passe par une valeur maxi-



Fig. 170. — Coup de hache, effort d'abaissement des bras.

mum et coïncide avec la direction du but à atteindre. Un peu plus tôt ou un peu plus tard l'effet utile est incomplet ou perdu (fig. 176 et 177).



Fig. 171. — Coup de hache, mouvement ascendant.

LOIS DE LA VITESSE DES MOUVEMENTS. RYTHME ET MASSE. — La

vitesse des mouvements est naturellement liée à l'importance de la masse à mouvoir et à la force des muscles moteurs. Elle est inversement proportionnelle à la masse et dépend de la force initiale et de la durée de son action. Dans un mouvement de lancer, la vitesse dépend aussi de la longueur des leviers; pour une même vitesse angulaire, il y a avantage à avoir de longs bras. Mais cette longueur de membres demande beaucoup

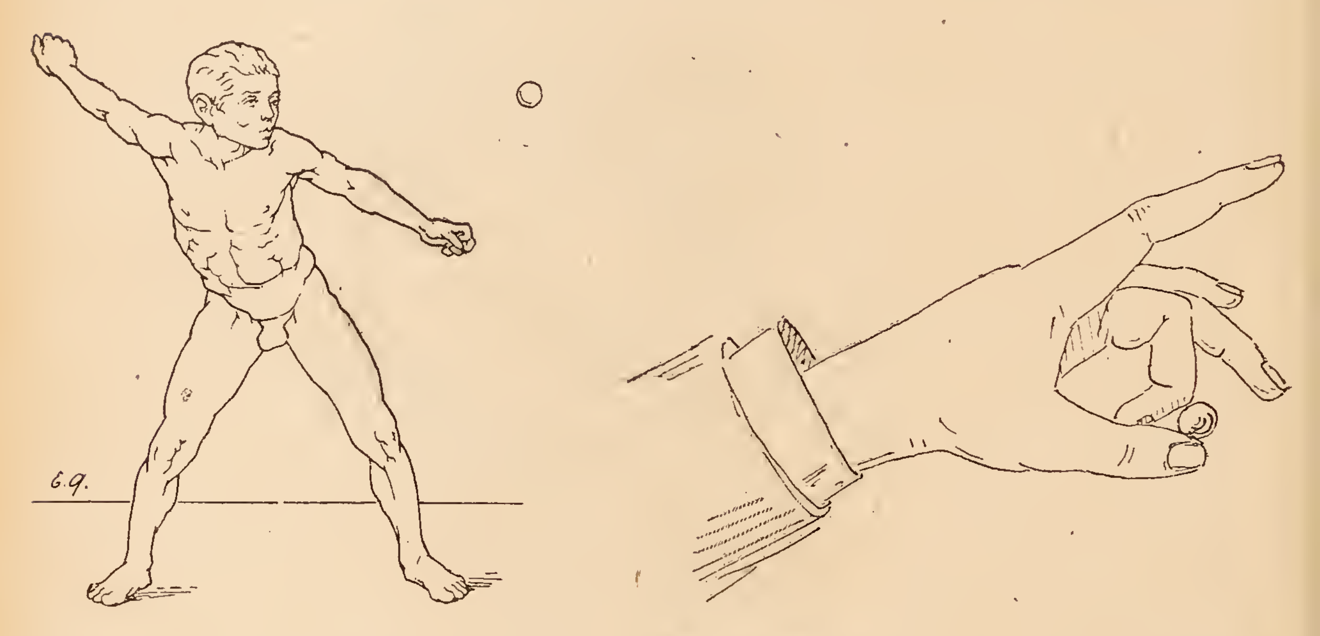


Fig. 172. — Préparation du coup de poing pour chasser la balle. Cet enfant lance le bras en arrière pour le ramener immédiatement en avant.

Fig. 173. — Chiquenaude montrant la tension préalable des muscles des doigts précédant la détente.

plus de force motrice en vertu de l'inertie et de l'importance des masses à mouvoir. Plus les segments sont longs, plus leur rythme propre, leur rythme pendulaire est lent, plus il faut d'intensité dans l'effort initial pour accélérer ce rythme ou cette vitesse.

Ces lois peuvent nous éclairer sur l'influence de la taille. Les animaux ont les mouvements d'autant plus vifs qu'ils sont plus petits parce que les petits ont moins de masse à mouvoir et que les rythmes pendulaires de leurs membres sont plus rapides. On peut faire 10 mouvements de doigt pendant un mouvement de bras. Mais par contre les grands ayant de plus longs bras de levier, leurs mouvements sont plus étendus, la vitesse absolue de la main par exemple est proportionnelle à la longueur du bras pour la même vitesse angulaire de celui-ci.

Il y a donc pour la taille une grandeur favorable à l'utilisation maximum de la force. Les petits trapus sont construits pour produire de grands efforts, les grands minces pour la vitesse. Il est rare de voir deux sujets de dimensions différentes exactement proportionnés et semblables. S'il en était ainsi, le plus grand serait mal partagé sous le rapport de la vitesse,



Fig. 174. — Attitude d'un sujet qui lance une pierre ; mouvement du bras en arrière précédant le lancer.

Fig. 175. — Lancer du javelot.

parce que ses forces motrices ne seraient pas dans le rapport de la masse considérable à mouvoir.

Chaque animal se meut avec le rythme qui lui est propre et s'y prend à sa façon, cependant ce ne sont pas les petits animaux qui ont la moindre vitesse de progression. Un chien suit facilement un cheval au galop. Ici la masse, la forme des organes et la disposition des muscles moteurs sont des conditions de premier ordre pour le rendement en travail sous forme de vitesse.

Effet des masses additionnelles. — Les observations faites à propos de la vitesse dans les mouvements naturels sont applicables aux mouvements avec masses additionnelles. Il y a alors exagération des effets dus à l'inertie lorsque nous obligeons des masses en mouvement à suivre un chemin sinueux déterminé avec des vitesses variées.

Haltères. — Les haltères sont des poids additionnels dont on surcharge les extrémités supérieures. Ils ont pour effet d'augmenter l'intensité des contractions musculaires en créant des efforts statiques et des résistances d'inertie à vaincre.

Dans le repos et en station droite, ils créent des résistances verticales et ce sont principalement les élévateurs des bras : deltoïdes, grands dentelés, partie supérieure du trapèze, angu-

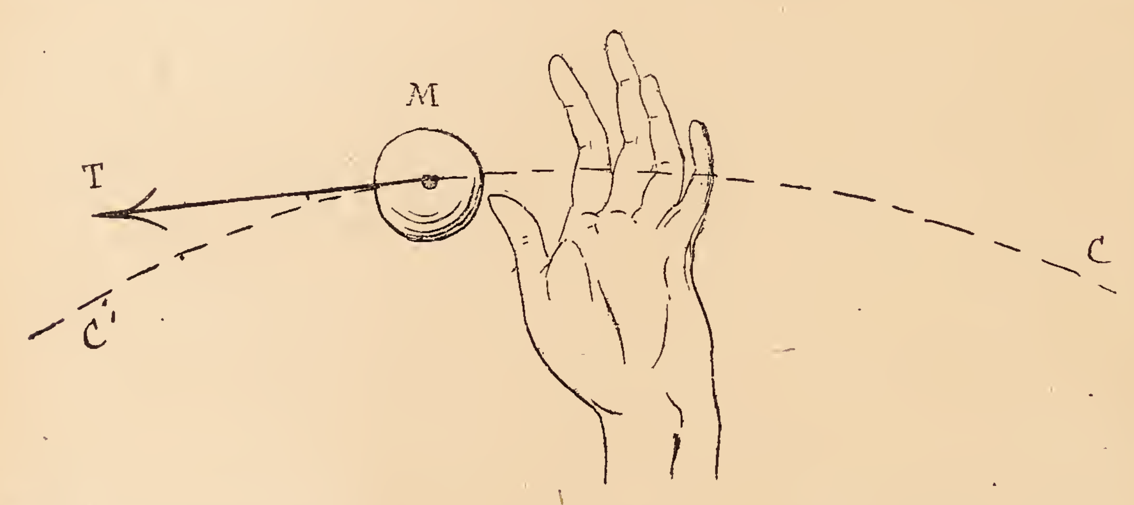


Fig. 176. — Direction et vitesse d'un projectile M au moment où il est lâché par la main qui le lance.

laire et les extenseurs des jambes et du tronc qui supportent l'effort.

Dans l'abaissement du bras, dans la flexion du tronc, le poids de l'haltère agit dans le sens du mouvement, les muscles élévateurs ont alors un rôle modérateur de la cadence. Les mouvements d'haltères sont des exercices spéciaux amenant promptement une lassitude dans les épaules et dans la région lombaire.

Le poids de l'haltère ne doit pas dépasser 5 kilogrammes et être en rapport avec les forces de chacun. Pour être logique, il faudrait même exécuter les mouvements à bras tendus avec des haltères moins lourds que les mouvements à bras fléchis, ou bien répéter les mouvements à bras allongés un nombre de fois moindre.

Si l'on veut tirer tout le parti possible des haltères légers il faut conserver au corps l'attitude droite sur laquelle nous avons tant de fois attiré l'attention. Il faut marquer des temps d'arrêt et varier la position du corps en l'inclinant en tous sens.

L'action de l'haltère immobile est une force constante, verticale, invariable, pour en changer les effets il faut donc varier l'attitude du corps, sinon les contractions musculaires seraient toujours celles des élévateurs des bras. Pour maintenir le corps debout, couché, oblique, le dos, le ventre ou le côté tournés

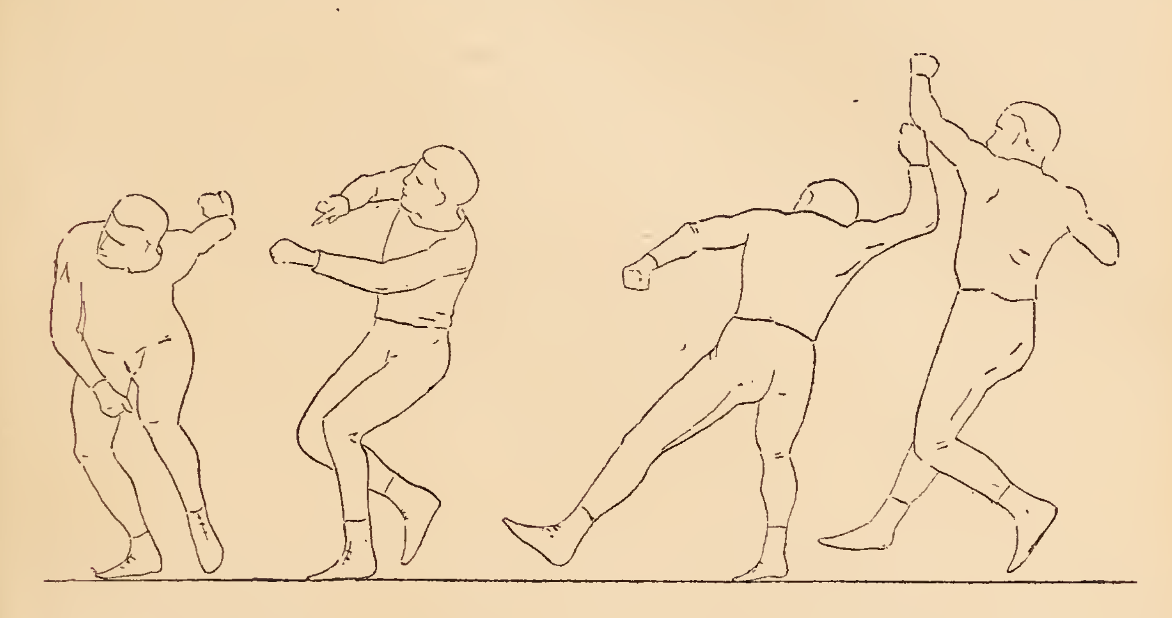


Fig. 177. — Attitudes successives d'un homme lançant une pierre. Les images se lisent de droite à gauche et occupent des positions relatives exactes.

vers le sol les mains chargées d'haltères, il y a chaque fois une chaîne de contractions facile à déterminer. Les muscles servent surtout de fixateurs des points fixes et de ligaments actifs autour des articulations.

La gradation des exercices statiques avec haltères est basée sur l'intensité des contractions, le degré de raccourcissement des muscles ou l'amplitude du mouvement, la durée de la contraction et l'obliquité des bras.

L'intensité des contractions dépend du poids de l'haltère, de l'allongement des bras et de l'inclinaison du tronc. Le maximum d'effort a lieu le corps horizontal et les bras complètement étendus. L'effet sur le raccourcissement des muscles se produit surtout avec l'amplitude la plus complète, et la tenue de l'attitude, l'obliquité des bras influe sur la longueur du bras de levier de la résistance à vaincre.

Influence de l'inertie de la masse. — L'haltère n'agit pas seulement par son poids mais aussi par son inertie.

D'abord immobile il demande l'action énergique des muscles pour être mis en mouvement. Une fois en mouvement il tend à conserver sa vitesse et à se mouvoir dans la direction vers laquelle il a été entraîné. Son effet varie à chaque instant avec la direction et la nature du mouvement qu'on lui imprime.

Le mouvement peut être uniforme, accéléré ou retardé, sa

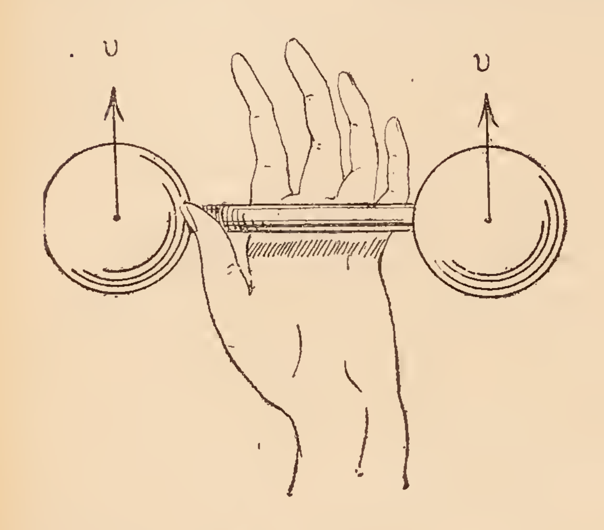


Fig. 178. — Un haltère que l'on élève rapidement en haut avec la vitesse V ne pèse plus dans la main. Celle-ci peut alors s'ouvrir un instant et l'action du poids est alors nulle.

Fig. 179. — Une masse M ayant une vitesse ascensionnelle V arrivée au sommet de sa trajectoire demeure un instant immobile. A ce moment, on peut la saisir comme un objet sans poids.

direction peut être verticale ascendante ou descendante, horizontale, oblique ascendante ou descendante.

Dans un mouvement vertical ascendant la vitesse peut rester constante, augmenter ou diminuer. Dans ces trois cas la pression de l'haltère sur la main est respectivement constante, égale à son poids ou légèrement supérieure dans le mouvement uniforme; supérieure au poids dans le mouvement accéléré, et inférieure au poids dans le mouvement retardé.

La pression peut même être nulle et l'effort musculaire aboli si l'on a communiqué à l'haltère une certaine vitesse d'ascension (fig. 178).

Un projectile lancé verticalement arrive au point culminant de sa course avec une vitesse nulle, à ce moment il ne pèse pas; on peut le saisir à la main (fig. 179) sans sentir de sa part aucune action, aucune pression jusqu'à ce que son mouvement descendant ait commencé.

Dans le mouvement ascendant un peu rapide l'haltère peut

aller plus vite que la main et abandonner celle-ci si on ne le retient pas. Si on le retient, les actions musculaires changent; les muscles abaisseurs et fléchisseurs du bras remplacent les élévateurs et extenseurs.

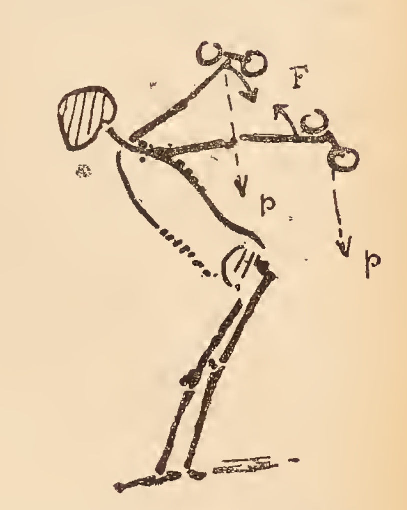


Fig. 180 — Mouvement d'abduction des bras en arrière effectué avec des haltères dans la main.

On voit les forces musculaires horizontales F, seules utiles au rapprochement des omoplates, être remplacées par l'élan tandis que le poids de l'haltère *p p* n'ajoute rien à l'intensité de l'effet de l'exercice, mais suscite les contractions des élévateurs des bras et des muscles abdominaux.

Dans le mouvement vertical descendant, les muscles luttent franchement contre la chute de l'haltère. Uniforme, la pression de la main est constante; uniformément accélérée, la pression dans la main devient nulle c'est alors la chute libre.

Les mouvements d'haltères exécutés dans un plan horizontal demandent deux actions différentes : une action continue des élévateurs des bras pour les maintenir dans un plan horizontal, et une action variable des muscles produisant le mouvement d'abduction ou d'adduction des bras dans le plan horizontal (fig. 180).

Un mouvement de ce genre est toujours accéléré d'abord et retardé ensuite. Le bras moteur de l'haltère au début est finalement entraîné par lui et les muscles antagonistes du mouvement entrent vigoureusement en jeu, pour empêcher le choc final et la dislocation de l'articulation de l'épaule.



Fig. 181.— Lancer horizontalement les bras avec haltères.

Dans ce mouvement, l'amplitude est due à l'inertie des poids qui conservent leur vitesse acquise.

Si l'amplitude du mouvement est grande à fin de course (fig. 181) la cause doit se trouver dans l'inertie de la masse de l'haltère continuant son chemin avec la vitesse qui lui a été communiquée au début. Les muscles abducteurs, c'est-à-dire les muscles du dos tombent dans le relâchement et ce sont les pectoraux qui retiennent les bras et les empêchent d'être projetés trop fort en arrière (fig. 182).

Lorsque les bras sont allongés, l'haltère décrit une circonfé-

rence de cercle, jamais une ligne droite; il s'ajoute donc une action centrifuge s'exerçant dans la direction du bras.

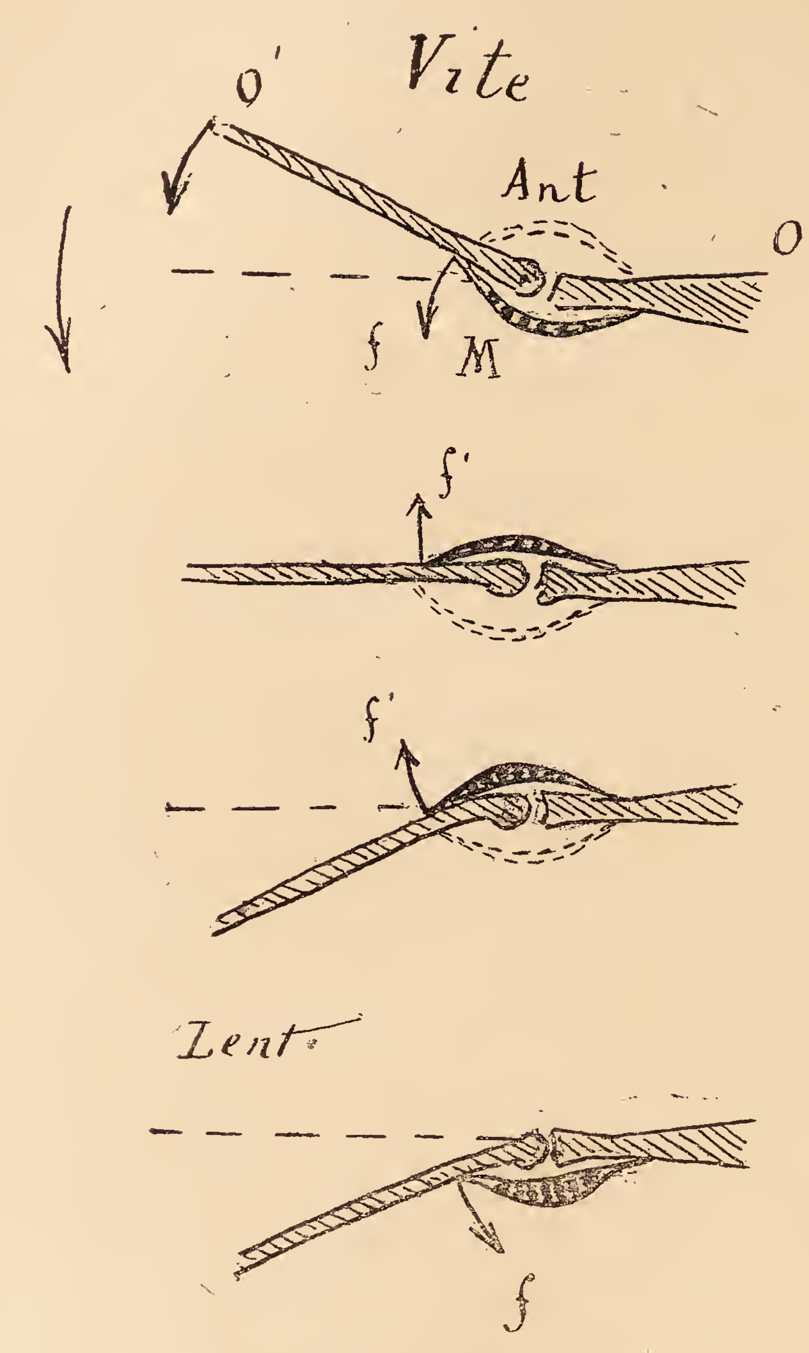


Fig. 182. — Résumant ce qui se passe dans un mouvement vif et un mouvement lent.

O, segment osseux fixe sur lequel se meut le segment mobile O'. Le muscle moteur M, qui a commencé le mouvement, tombe dans le relâchement et son action *f* est remplacée bientôt par l'action *f'* du muscle antagoniste.

Dans le mouvement lent, au contraire, le muscle moteur agit d'une façon continue *f* jusqu'à son complet raccourcissement.

En résumé les mouvements d'haltères n'ont pas d'effet constant à moins d'être exécutés très lentement avec mouvement uniforme; le rythme, la vitesse et la direction des mouvements changent à chaque instant la répartition et l'intensité des contractions musculaires.

Complexité des effets de l'haltère. — Si le rythme s'accélère et le poids de l'haltère augmente, les effets de l'inertie et de la

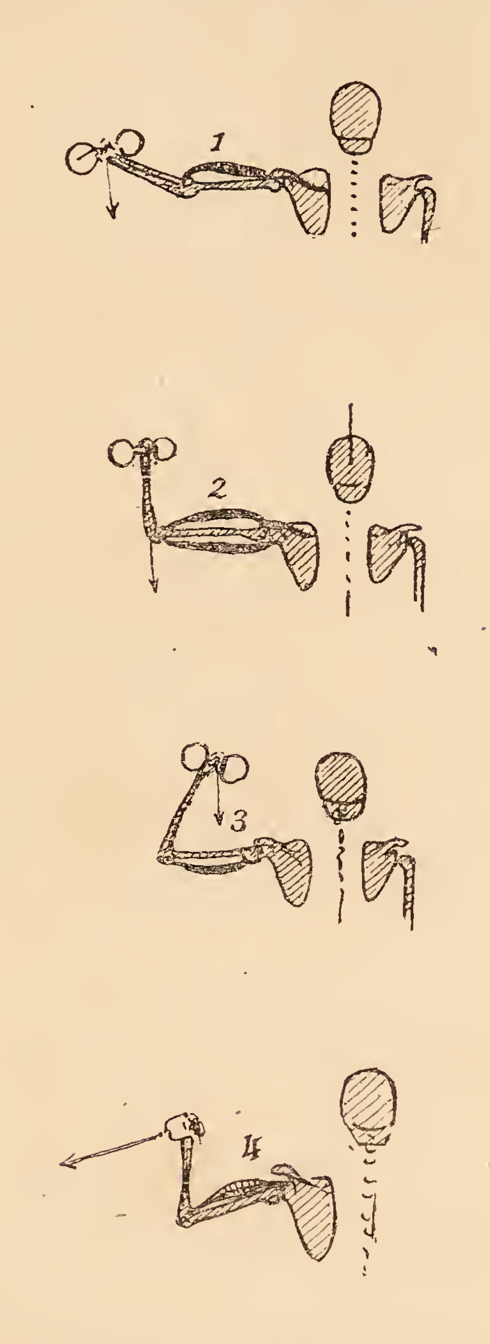


Fig. 183. — Effet d'un haltère suivant la position de l'avant-bras.
1, effort de flexion ; — 2, point neutre ; — 3, effet d'extension ; — 4, effort continu de flexion obtenu par une traction horizontale.

masse se font sentir de plus en plus énergiquement et la contraction musculaire au lieu d'être continue devient au contraire tout à fait intermittente. L'exercice avec haltères se différencie totalement pour cette raison des attitudes soutenues. Leur effet est beaucoup plus indéterminé; on le considère généralement comme un moyen de développer le système musculaire et la force. Il y a beaucoup de préjugés à leur égard; ils ne doivent pas être employés par l'enfant au-dessous de 10 ans.

Pour développer les muscles on augmente volontiers le poids de l'haltère, on tombe ainsi dans une exagération athlétique sans bénéfice réel et surtout sans améliorer les vices de conformation du corps. Les haltères trop pesants exagèrent les mauvaises attitudes du corps et nuisent à la bonne exécution des

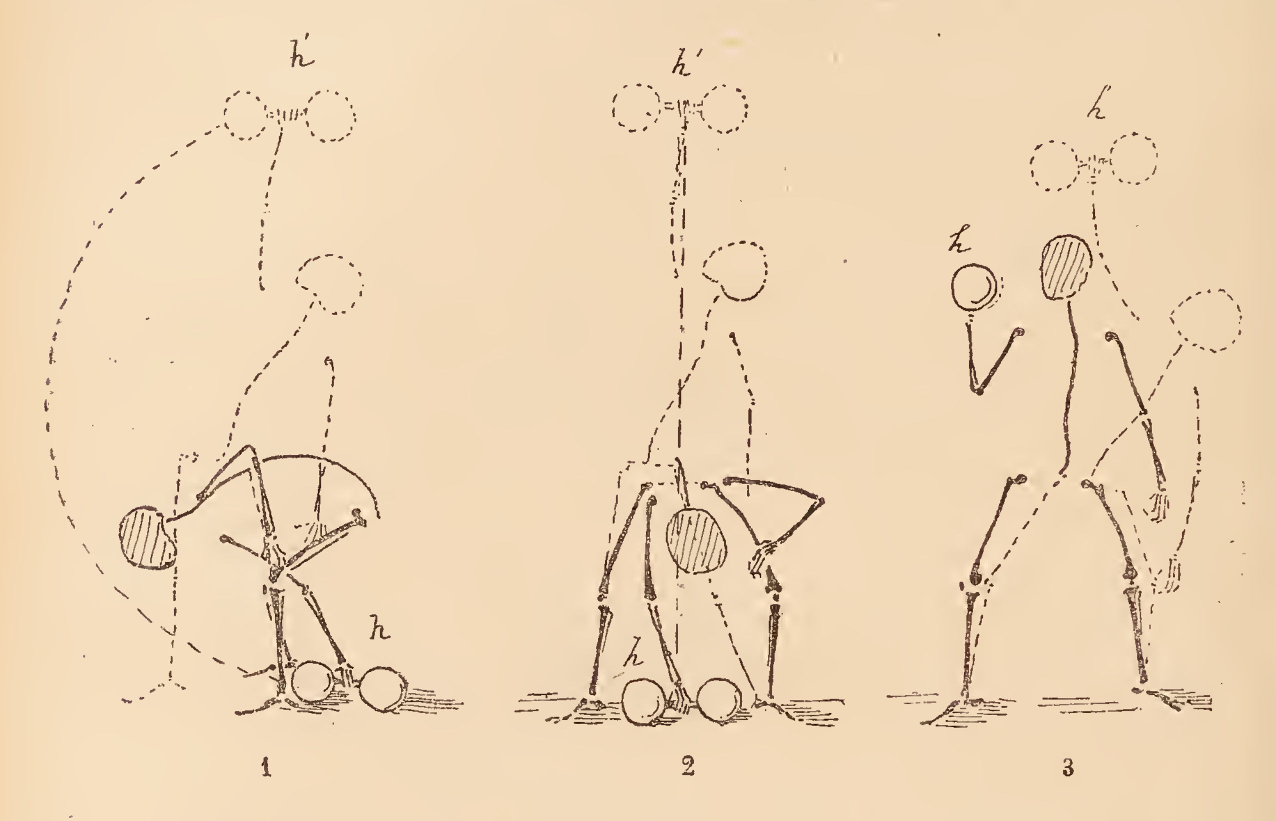


Fig. 184. — Trois manières d'enlever un gros haltère.

1, avec balancement d'arrière en avant ; — 2, par arrachement vertical ; — 3, par effort d'extension du bras.

mouvements simples. Ils seront toujours trop lourds si on ne peut exécuter facilement les mouvements à bras étendus.

Nous renvoyons le lecteur à ce que nous avons dit relativement à la recherche du développement musculaire excessif et à ses inconvénients (fig. 183).

Mouvements exécutés avec des haltères lourds. — Beaucoup se complaisent dans le maniement des gros haltères pesants et ne s'arrêtent qu'à la limite de leurs forces.

Enlever un haltère, d'après l'expression consacrée, consiste à saisir avec la main cet haltère posé sur le sol et finalement, par un effort musculaire, à l'élever et à le maintenir en équilibre à l'extrémité du bras allongé verticalement.

L'haltère peut être enlevé de 3 manières principales (fig. 184).

1re *Manière.* — Élévation en 3 temps avec balancement :

L'haltère posé sur le sol, on se place un peu en arrière, les jambes légèrement écartées, la poignée située dans le plan médian :

(1er temps). On fléchit les jambes et le tronc, puis l'on saisit la poignée de l'haltère.

(2e temps). On fait effort des extenseurs du tronc pour détacher l'haltère du sol et lui permettre d'osciller d'avant en arrière dans le plan médian.

On aide à ce mouvement par les abducteurs du bras, puis, au moment où l'oscillation commence d'arrière en avant, on fait (3e temps) un violent effort simultané des extenseurs et des membres inférieurs, des fessiers, des extenseurs de la colonne et des abducteurs du bras (partie antérieure du deltoïde).

Sollicité verticalement par l'extension des jambes et suivant deux arcs de cercle dont l'un décrit par l'épaule, a son centre sur la ligne des têtes fémorales, et l'autre décrit par la main, a pour centre l'articulation scapulo-humérale, l'haltère est suivant une trajectoire plus ou moins complexe, amené verticalement à l'extrémité du bras tendu.

2e *Manière.* — Élévation en deux temps :

L'haltère étant placé transversalement un peu en avant des pieds, on le saisit (1er temps) la main en pronation en s'accroupissant sur les extrémités inférieures légèrement écartées ; et (2e temps), par la détente violente des membres inférieurs exécutée simultanément avec l'extension du tronc, l'haltère est arraché violemment du sol. On continue à le suivre dans son ascension verticale en fléchissant le bras et en élevant le coude. L'effort musculaire actif va ainsi en diminuant, mais, si l'élan donné est suffisant pour lui faire dépasser la hauteur de l'épaule, on substitue à la flexion du bras l'extension subite et ainsi l'haltère est amené directement, suivant la verticale, à l'extrémité du bras tendu.

3e *Manière.* — Élévation en 3 temps sans élan :

La jambe gauche fléchie étant placée en avant, la jambe droite tendue en arrière, l'haltère situé au-devant du pied droit, l'axe antéro-postérieur.

On fléchit (1er temps) fortement le tronc de façon à saisir la

poignée, la main en demi-supination et, par un effort simultané des fléchisseurs du bras et des extenseurs du tronc, on amène l'haltère à la hauteur de l'épaule.

L'effort musculaire est proportionnel au poids de l'haltère à la longueur de l'avant-bras et à la distance des points d'insertion des muscles.

Il varie donc en raison inverse du raccourcissement de ces derniers ainsi qu'en raison inverse de la distance d'insertion et de la longueur du bras.

Il va toujours en diminuant pendant que l'angle des deux segments du bras varie de 180° à 0°.

Si cet angle atteignait cette dernière valeur, l'effort musculaire pourrait être nul, le poids de l'haltère serait alors totalement supporté par les ligaments articulaires de l'articulation du coude.

L'expérience s'accorde avec le calcul ; au début de la flexion l'effort musculaire est très pénible, généralement même on élève involontairement les coudes pour imprimer à l'haltère un élan vertical. La longue portion du biceps fortement contractée attire la tête humérale contre la cavité glénoïde et s'oppose à la luxation en bas. Elle est aidée dans cette fonction par la contraction énergique des rotateurs du bras et de la longue portion du triceps. Les pectoraux s'opposent à un mouvement d'oscillation du bras en arrière, les portions supérieures des trapèzes résistent à l'affaissement de l'épaule.

La portion moyenne des trapèzes et les dorsaux fixent l'insertion supérieure des pectoraux et attirent l'omoplate en arrière

Le mouvement de flexion de l'avant-bras est facilité par l'extension simultanée du tronc qui contribue à l'élévation de l'haltère et est accompagnée de la contraction des muscles abdominaux.

La flexion est plus facile la main en pronation, car le biceps s'enroulant autour du radius pendant la supination, agit directement pendant la pronation.

(3e Temps). L'haltère une fois à l'épaule, son centre de gravité est amené au-dessus de la base de sustentation du côté de la jambe droite qui se fléchit légèrement ; par un effort considérable des deltoïdes, des élévateurs du moignon de l'épaule, par le mouvement de bascule de l'omoplate dû à l'action du grand dentelé, par l'extension de l'avant-bras sur le bras, toutes ces

actions étant simultanées, l'haltère est enlevé verticalement au-dessus de la cavité glénoïde (fig. 185).

Il repose alors sur la colonne formée par les segments du membre supérieur mis bout à bout et maintenus dans l'extension par l'effort musculaire.

L'équilibre sera facilité si l'on ne perd pas des yeux l'haltère; le tronc sera incliné du côté gauche de manière à ramener le centre de gravité de tout le système vers la ligne médiane.

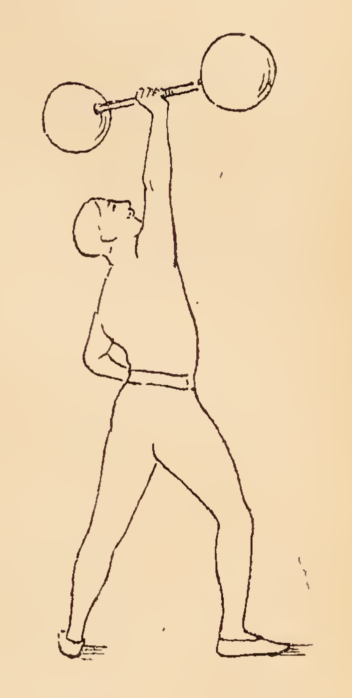


Fig. 185. — Élévation d'une barre à sphères lourde.

Si le poids est très lourd, on peut user de l'artifice suivant pour faire en partie supporter l'effort d'extension par les extenseurs des jambes, beaucoup plus puissants que ceux du bras.

A cet effet, au moment où l'on étend le bras, on fléchit les jambes, de telle sorte que la somme de l'abaissement vertical de la cavité glénoïde dû à la flexion des jambes et de l'élévation verticale de la main due à l'extension partielle du bras soit justement égale à la longueur du bras étendu. Alors l'élévation de l'haltère à l'extrémité du bras étendu se fait par l'extension des jambes, en élevant simultanément et en masse le tronc et le bras. Au début de ce mouvement, l'haltère reste sensiblement immobile. Il n'est élevé ensuite que par l'effort d'extension des jambes qui exécutent alors tout le travail d'élévation.

Dans l'abaissement de l'haltère, c'est-à-dire le mouvement inverse, les muscles précédents sont mis en jeu pour ralentir la chute.

Le travail effectué n'est pas très considérable, mais portant sur des muscles relativement faibles et devant être produit très rapidement il nécessite des efforts musculaires instantanés et très intenses.

Cet effort est plus durable dans la troisième méthode, aussi voit-on se produire, au plus haut degré, les troubles indiqués à propos du phénomène de l'effort.

La congestion de la face en est une des manifestations extérieures.

Du reste, toute la musculature du corps se contracte, les muscles abdominaux en particulier, compriment si violemment l'abdomen qu'il n'est pas sans exemple que des hernies se soient produites à la suite du soulèvement d'un poids. Les articulations du genou se fatiguent vite; aussi ces inconvénients condamnent absolument les exercices exagérés d'haltères lourds, surtout s'ils ne sont exécutés que d'une seule main, sans symétrie.

Ces exercices peuvent être classés parmi ceux qui visent surtout la satisfaction de la vanité et la recherche de la difficulté vaincue sans grande utilité.

Lancer les haltères lourds. — L'exercice d'haltères peut être

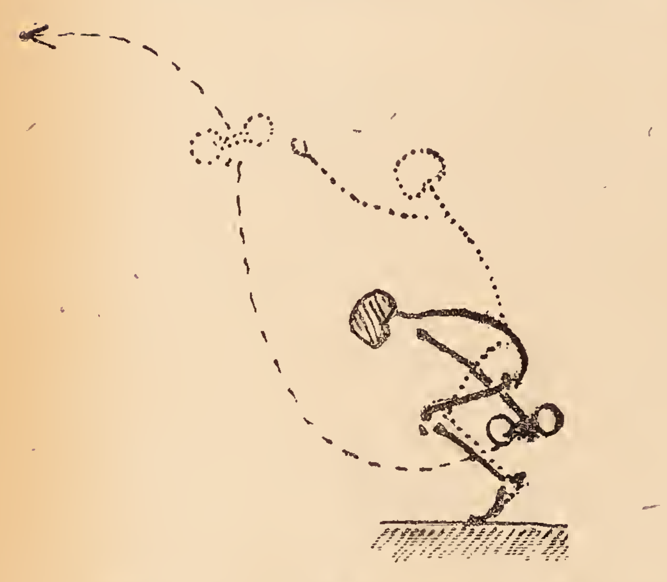


Fig. 186.— Lancer l'haltère en avant après un balancement en arrière.

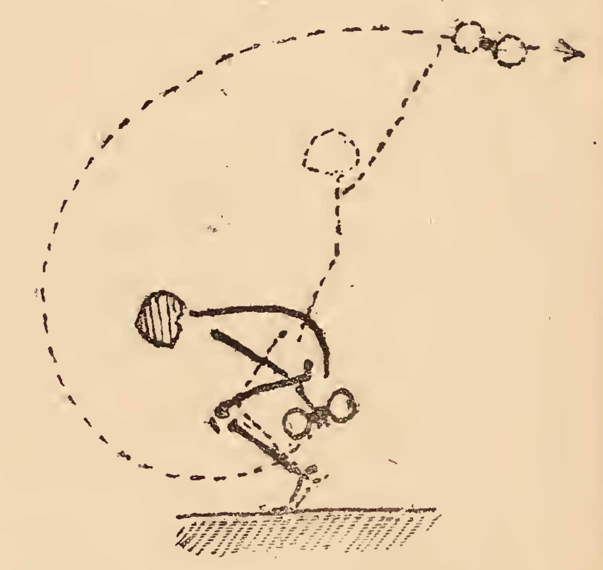


Fig. 187. — Lancer l'haltère en arrière au-dessus de la tête après un balancement en arrière.

aussi un exercice de lancer comme l'exercice du boulet et de la pierre. On peut s'exercer à lancer l'haltère en le portant d'abord à l'épaule et en le jetant le plus loin possible. On fait concourir pour cela l'extension des jambes et celle du bras. On peut le lancer également au moyen d'un élan après lui avoir fait prendre quelques balancements. Ces exercices exécutés avec des poids de 10 kilogrammes sont intéressants, ils prennent un intérêt spécial si on les transforme en jeu. A cet effet plusieurs jeunes gens se placent en cercle et lancent et saisissent l'haltère au vol. Celui qui lance produit un travail moteur, celui qui reçoit produit du travail résistant transformé immédiatement en un élan nouveau sans temps d'arrêt (fig. 186 et 187). On peut constater l'intensité et la généralité des contractions

musculaires dans le travail résistant, chez le sujet qui reçoit le choc d'un boulet lancé, la chaîne continue des contractions se propage jusqu'aux muscles du cou et de la mâchoire donnant au corps l'aspect d'un individu disséqué (fig. 188).



Fig. 188. — Modelé du corps d'un sujet recevant un boulet dans les mains et résistant énergiquement au choc.

Adresse dans le maniement des fardeaux. — Il y a dans le maniement des poids lourds autant d'adresse que de force, et nous voyons journellement grâce à leur habileté des ouvriers manier facilement des caisses, des barriques de vin qu'il nous serait impossible de remuer. Ils ont acquis un sens particulier des balancements et des pressions leur permettant de saisir les temps favorables pour donner l'effort.

L'homme chargé d'un fardeau prend une position convenable pour conserver son équilibre. Porté sur la tête le poids a

une action symétrique, il tend à écraser et à fléchir notre tronc. La meilleure manière de résister à cette flexion c'est de rester bien droit.

Le fardeau porté sur le dos nous oblige à nous courber en avant (fig. 189) pour soulager les fléchisseurs du tronc et nous empêcher de tomber à la renverse.

Les porteurs de la halle sont pour cela presque tous voûtés ;

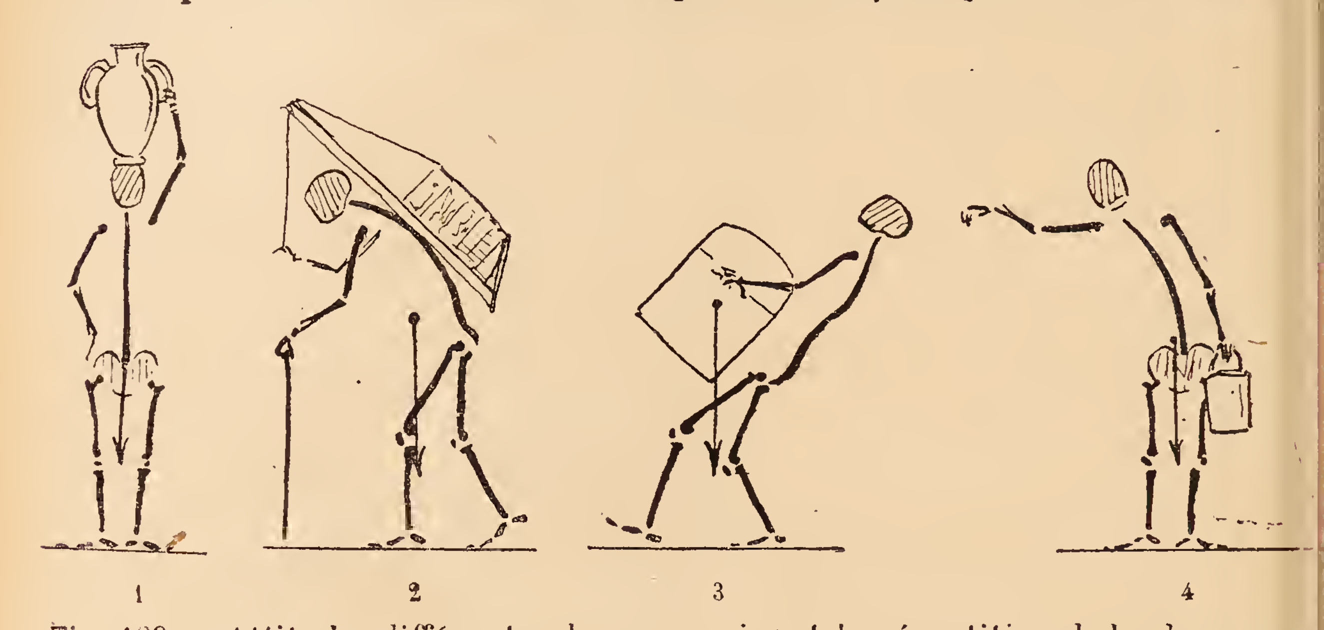


Fig. 189.— Attitudes différentes du corps suivant la répartition de la charge.

1, Fardeau porté sur la tête ; corps droit ; — 2, fardeau sur les épaules ; corps penché en avant ; — 3, fardeau porté en avant ; corps penché en arrière ; — 4, fardeau porté d'une main ; corps penché de côté.

ils portent leur sac très avant sur le cou et s'appuient avec une canne pour soulager leurs muscles extenseurs.

Porté en avant ou de côté, le fardeau nous fait rejeter le tronc en arrière ou du côté opposé. Si l'on tient un seau d'eau d'une main on élève horizontalement le bras opposé pour servir de balancier et faire contrepoids.

Les clowns enlèvent facilement un homme couché sur un tapis et arrivent à le mettre à bout de bras en un seul temps. Ceci s'explique, l'homme, représentant ici le fardeau, est loin d'être passif, il a répété à l'avance l'exercice et s'entend avec son partenaire pour se donner un élan invisible mais coïncidant exactement avec l'effort d'arrachement.

Il serait tout à fait impossible de soulever ainsi un cadavre dans le relâchement absolu (fig. 125).

On a dû même chercher des moyens pratiques pour placer et transporter sur le dos un malade ou un blessé incapable de se mouvoir et tombé en syncope.

La manière la plus ordinaire consiste à le saisir par le bras gauche, le soulever de terre, à passer le genou fléchi sous le corps, pour l'y bien reposer, l'entourer de ses bras et attirer ses jambes sur l'épaule (fig. 190 et 191). Le malade se trouve finalement placé les jambes et les bras pendants sur l'épaule de son camarade redressé. Le blessé est considéré ici comme un fardeau difficile à porter. Le cas se présente dans un incendie où il faut à tout prix éloigner du foyer un sujet qui a perdu connaissance.



Fig. 190. — Manière de charger sur les épaules un blessé évanoui.



Fig. 191. — Manière de porter un blessé.

Caractéristique des mouvements de massue. — Les massues ou mils se distinguent des haltères par une forme allongée. L'haltère est symétrique, son centre de gravité est situé dans la main, la massue au contraire a son centre de gravité dans sa partie renflée, c'est-à-dire assez éloigné de l'extrémité amincie qui sert de poignée.

Dans les attitudes où elle est maintenue immobile, le poids de la massue s'exerce à l'extrémité d'un bras de levier variant sans cesse avec l'inclinaison de celle-ci (fig. 192). L'effort maximum correspond à l'inclinaison horizontale, l'effort minimum à la position verticale de la massue. Les mouvements de massue sont surtout des mouvements d'élan, des moulinets du poignet, des cercles décrits derrière la tête, en avant et en arrière du corps. La massue une fois lancée n'a plus qu'à être dirigée par la main

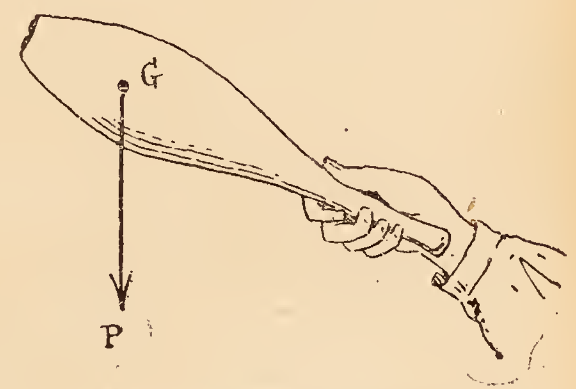


Fig. 192. — Massue représentant une force G P agissant sur la main à l'extrémité d'un bras de levier variable.

qui la conduit. Il ne faut aucunement lui résister ; elle a un balancement propre s'accélérant dans les flexions des bras lorsque les trajectoires décrites diminuent de rayon. Quand la massue suit la partie descendante de son parcours, elle s'accélère, quand elle remonte elle se ralentit et à ce moment une légère impulsion lui fait reprendre la vitesse perdue. On peut ainsi entretenir son mouvement sans dépenser beaucoup de force et avec de la pratique on arrive à de véritables exercices de jonglerie.

La massue tourne souvent autour de

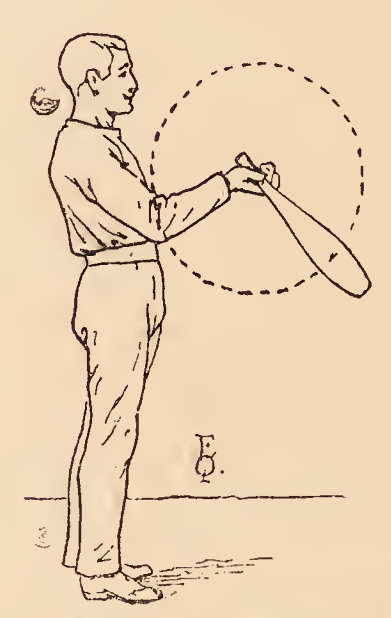


Fig. 193. — Moulinet du poignet avec la massue.

Fig. 194. — Petit cercle décrit par la massue derrière la tête.

son centre de gravité immobile dans l'espace. C'est le bras qui tourne autour de la massue.

Les moulinets de poignet sont des combinaisons de la pronation et de la supination avec la flexion et l'extension de la main, flexion et extension légère de l'avant-bras (fig. 193).

Les autres mouvements consistent en moulinets exécutés derrière la tête et devant le corps. Ce sont tantôt les élévateurs, tantôt les adducteurs qui sont mis en action (fig. 194).

Dans les moulinets derrière la tête, la massue, tenue verticalement par le bras droit tendu par exemple, tombe par son poids à gauche, le bras se plie, le mouvement s'accélère, la massue, par son élan, passe au delà de la verticale et, au moyen d'une vigoureuse adduction du coude effectuée par le pectoral attirant le bras dans un plan horizontal, adduction

exécutée simultanément avec une extension de l'avant-bras, elle remonte à sa première position verticale. Son centre de gravité a décrit sensiblement une circonférence autour de la main.

Les circumductions du bras s'effectuant dans un plan antérieur le bras allongé et combinées avec les moulinets et les exercices de poignets, donnent lieu à des mouvements complexes, fort élégants, dont l'effet sur la dilatation thoracique est manifeste, surtout exécutés symétriquement et simultanément des deux bras (fig. 195 et 196).

Leur inconvénient, lorsque l'on

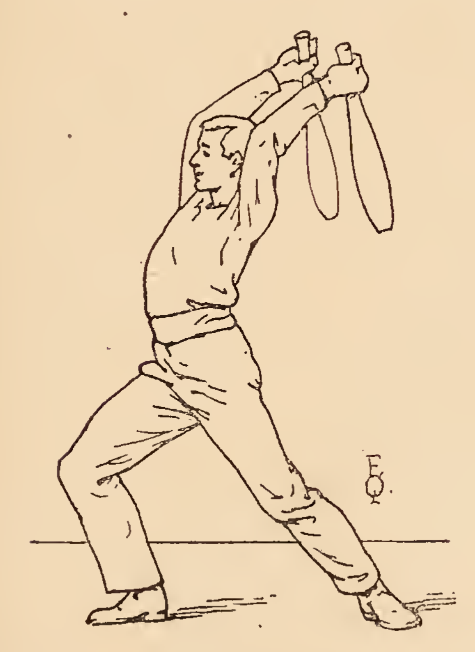


Fig. 195. — Balancement des massues au-dessus de la tête.

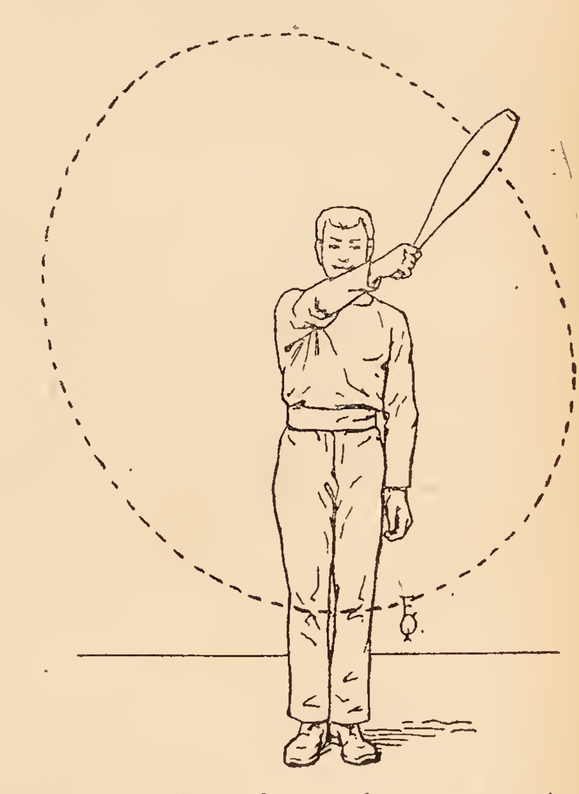


Fig. 196. — Grand cercle en avant décrit avec la massue.

n'en a pas acquis une grande pratique, surtout si l'on ne résiste pas au moment de la chute de la massue derrière la tête lors de la flexion de l'avant-bras, c'est de causer dans l'articulation du coude des secousses peu salutaires ; de plus, ils fatiguent vite le poignet par l'effort constant des muscles de la préhension. Exécutés dans la station droite les pieds réunis, lorsque la massue est derrière la tête, le centre de gravité de tout le système se trouve rejeté en arrière de la colonne dans la concavité lombaire ; la courbure lombaire se trouve exagérée pour cette raison.

Les mouvements de massue doivent être faits avec modération, il serait même bon de les alterner avec des mouvements d'haltères. Il faudra avant tout conserver au corps une attitude bien droite et lutter par la contraction des muscles abdominaux contre l'ensellure qu'ils provoquent inévitablement.

Les moulinets inverses, c'est-à-dire exécutés derrière la tête de bas en haut et de dehors en dedans obligent les coudes à se tenir dans le plan des épaules, ils suscitent la contraction des muscles du dos, en forçant le corps à se tenir bien droit.

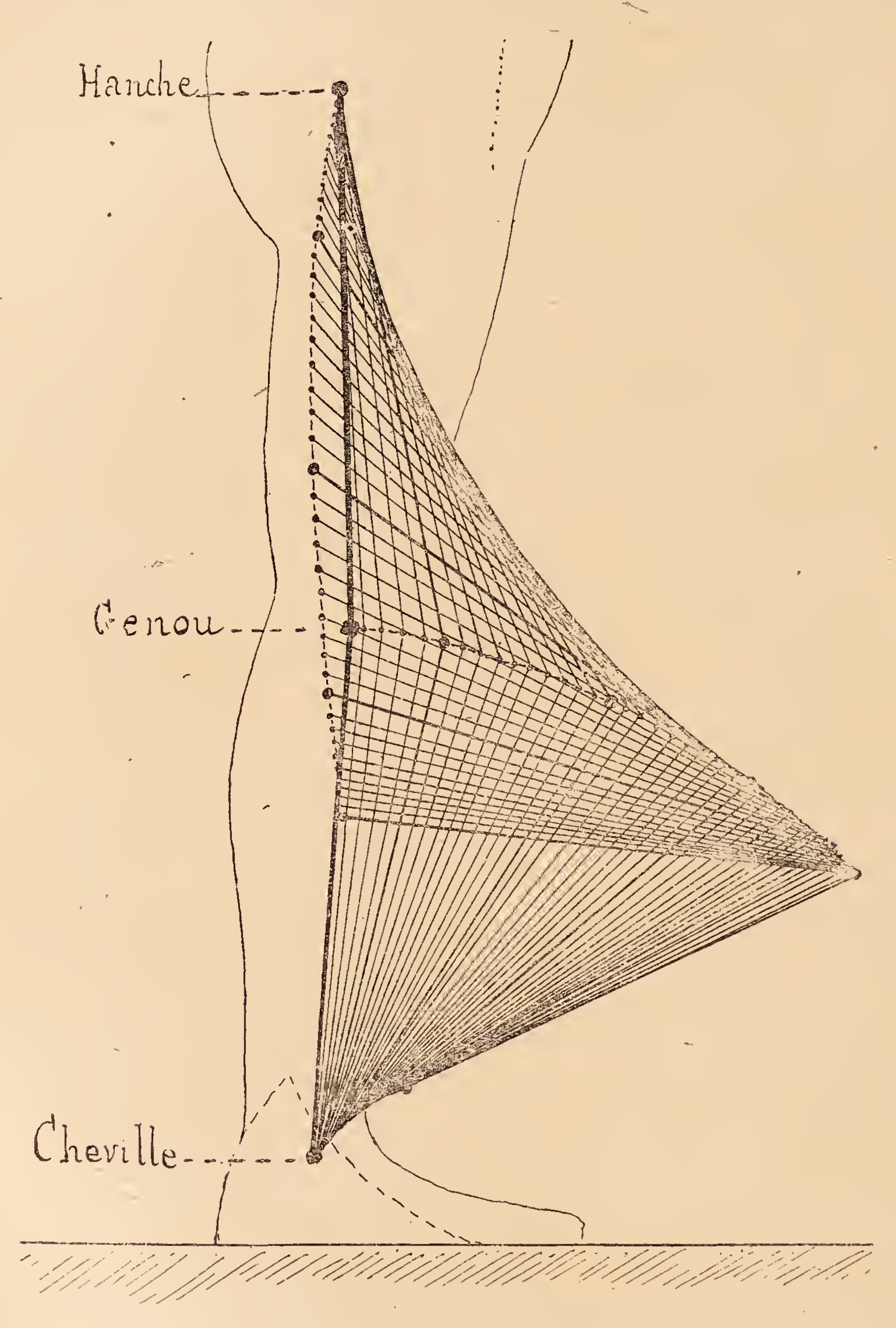


Fig. 197. — Analyse des trajectoires engendrées par la hanche, le genou et la cheville dans un abaissement du corps sur la pointe des pieds.

Toute attitude fléchie en avant vous exposerait inévitablement à rencontrer la massue en mouvement et à la frapper soit de la nuque, soit de l'épaule.

Mouvements qui engendrent une trajectoire rectiligne. — Nous

avons souvent à appliquer nos forces à un outil ou un instrument. Ce dernier est obligé de suivre une trajectoire définie, une ligne droite, par exemple. S'il n'est pas guidé mécaniquement, c'est à la main de le diriger. Le bras et l'avant-bras ne peuvent engendrer que des mouvements circulaires, il faut que leurs mouvements se combinent de façon à obtenir une ligne droite suivie par la main.

C'est là une des grandes difficultés du maniement de la scie, de la lime, du rabot et de l'archet. Cette difficulté se complique si, en assurant la direction rectiligne de l'outil, sa vitesse et sa pression doivent demeurer constantes ou suivre une loi déterminée. Nous avons fait l'analyse cinématique de ces mouvements, nous en citerons ici deux exemples.



Fig. 198 — Positions extrêmes et position moyenne du bras conduisant l'archet de violon dans une direction rectiligne.

Abaissement vertical du corps. — Quand nous nous abaissons sur la pointe des pieds, le corps droit, le genou, la hanche et la cheville se fléchissent, la figure ci-dessus nous montre quelle part de mouvement revient à tout instant à chacune des articulations pour assurer à la hanche une descente verticale. Ce genre d'analyse photographique nous a servi surtout pour étudier divers actes de la locomotion (fig. 197).

Mouvement rectiligne de l'archet. — Un bon violoniste s'efforce de conduire son archet perpendiculairement à la corde afin d'éviter les vibrations longitudinales de celle-ci, vibrations dont le timbre n'a rien d'artistique.

Il doit pour cela combiner savamment les mouvements de l'épaule, du bras, du coude, du poignet et même des phalanges. Tous les articles se fléchissent simultanément et d'une

quantité différente ; à chaque position de l'archet sur la corde correspond une attitude spéciale du bras (fig. 198).

CHANGEMENT DU MOUVEMENT DE L'ARCHET. — Le changement de sens de l'archet est particulièrement difficile si l'on veut éviter l'interruption du son.

La corde est entraînée dans le sens du mouvement de l'archet au delà de sa position d'équilibre. Dans le changement de sens de l'archet ce sera de l'autre côté de cette position que se feront les vibrations ; il y a donc un moment où la corde accompagnera l'archet à son retour et où la vibration cessera. Pour atténuer cet inconvénient et donner au son toute sa continuité, on accélère la vitesse de l'archet jusqu'au talon, le poignet se plie et s'étend ensuite légèrement au moment où la direction du bras vient à changer. De cette façon le mouvement de la corde n'est pas interrompu brusquement comme il le serait si le bras commandait seul. A la fin du pousser, l'archet va moins vite que le bras à cause de la flexion du poignet ; au commencement du tirer, l'archet reste aussi un peu en arrière du bras à cause de l'extension du poignet (fig. 199).

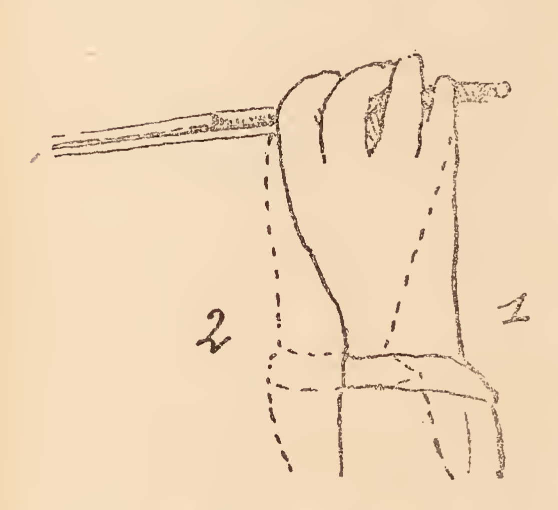


Fig. 199. — Mouvement du poignet au moment du changement de direction de l'archet (passage du pousser au tirer).

Le poignet se fléchissant de 1 à 2, le mouvement du bras peut ainsi s'effectuer sans communiquer à la baguette un arrêt brusque.

La vitesse de l'archet est donc égale à celle de l'avant-bras, diminuée ou augmentée de celle du poignet et le changement d'archet, c'est-à-dire la transition du pousser au tirer se fait moelleusement sans sécheresse et sans brusquerie. Telle est la raison du coup de poignet final exécuté au talon à fin de course par tous les violonistes habiles.

Dans tous les arts il existe des délicatesses de ce genre ; l'effet artistique ne doit certes pas être confondu avec la correction de la technique, cependant, surtout en musique instrumentale, cette correction est une des premières conditions d'un effet agréable.

Éducation de la main. — Tous les métiers délicats ont chacun leur tour de main, il nous serait très agréable de les analyser si le cadre de ce travail nous permettait des développements aussi considérables. Citons les professions manuelles dans lesquelles la vitesse est une qualité essentielle, comme les travaux d'aiguille, le maniement de l'épée et de l'archet, le toucher du piano. Dans ces exemples la rapidité des mouvements peut être très grande à la condition de ne mettre en jeu que les segments des doigts qui ont le moins de masse. Le grand défaut des élèves, ce qui leur donne le jeu lourd, c'est de faire avec les bras des mouvements inutiles au lieu de localiser le mouvement dans la main et les doigts.

Science et art. — Dans tous les arts il y a le métier pouvant être séparé de la partie artistique ou du moins étudié et perfectionné à part; c'est la technique des arts. La perfection de la technique ne donnera jamais une œuvre d'art, cela est certain, mais inversement un artiste négligeant la partie matérielle ne sera jamais un grand artiste.

Tous ceux qui ont laissé de grandes œuvres ont eu le plus grand souci des moyens qu'ils employaient et ont recherché l'intensité d'expression dans une connaissance approfondie de la nature et la perfection des moyens d'exécution.

Nous ne voulons pas confondre la science et l'art, des différences fondamentales les séparent. Un savant devant un tableau ou à l'audition d'une symphonie, analysera les formes, les sons et les couleurs, s'il est psychologue et artiste il cherchera à se rendre compte des raisons de l'émotion ressentie, il trouvera des rapports impersonnels entre les objets et ses sensations, mais son œuvre de dissection sera incapable de faire revivre l'exécution première.

L'artiste, au contraire, se préoccupe peu des moyens employés pourvu qu'ils rendent l'impression voulue.

Il n'étudie pas la nature en elle-même, il y cherche une source intarissable d'émotions les plus variées, les combine et les fixe afin de les faire partager aux autres.

Les buts poursuivis par le savant et l'artiste sont donc bien différents, cependant il y a des points où la science et l'art se touchent et se confondent. La forme anatomique, les attitudes et

les mouvements des êtres animés, la perspective ont des lois que le peintre ne peut enfreindre. Dans la musique surtout la technique est presque mathématique.

Pour émettre des sons justes d'un timbre agréable à l'oreille nuancés et rythmés, il faut une délicatesse de l'ouïe unie à une délicatesse du sens musculaire; ce n'est pas encore l'art, mais c'est la condition nécessaire à l'effet artistique.

Les écoles appelées conservatoires de musique n'ont pas d'autre but et ne peuvent avoir d'autre prétention que d'enseigner la technique du métier et de vous familiariser avec les traditions et les chefs-d'œuvre des prédécesseurs. Le génie créateur ne peut se former ni par l'étude, ni par l'érudition, il est naturel; c'est le résultat d'une conformation fortuite ou spontanée du cerveau. L'école doit enseigner la technique, mais pour mériter le nom d'école, il faut établir cette technique sur des faits d'expérience incontestée. Les exercices du pianiste ou du violoniste sont un cas particulier de l'éducation physique. Il s'agit d'obtenir de la sûreté, de la rapidité et de l'égalité avec un organe imparfait, la main, il faut exercer celle-ci d'après les lois du rythme, des masses, de l'habitude et de la fatigue régissant tous les mouvements. Le fait de manier un archet ne constitue par une exception, c'est un outil comme un autre ayant seulement un but différent[1].

Gymnastique spéciale de la main a introduire dans les conservatoires de musique. — Les écoles de musique gagneraient beaucoup à s'inspirer des travaux des physiologistes, leurs méthodes seraient plus sûres, elles sortiraient d'un empirisme fâcheux et mesquin, arriveraient plus vite au résultat cherché et utiliseraient des organisations d'élite rejetées des concours par inobservation des routines séculaires.

Il serait indispensable de faire d'abord l'éducation des mouvements de la main, de rendre les doigts indépendants avant d'attaquer le mécanisme d'un instrument, on apprendrait ensuite la manière la plus favorable de s'adapter à ce dernier pour lui faire rendre tout son effet.

M[me] Jaëll[2], l'éminente pianiste, a cherché à établir des règles du

1. Demeny, *Le Violoniste* (Paris, Maloine).
2. Madame Jaëll, *Le toucher de piano.*

toucher pour le piano et à raisonner le travail préparatoire de ses élèves. Elle arrive ainsi bien plus rapidement et bien plus sûrement à un résultat que par une répétition prolongée d'exercices de toutes sortes dont l'effet est inconnu ou reste encore à démontrer.

La main se travaille et s'affine par les exercices d'indépen-

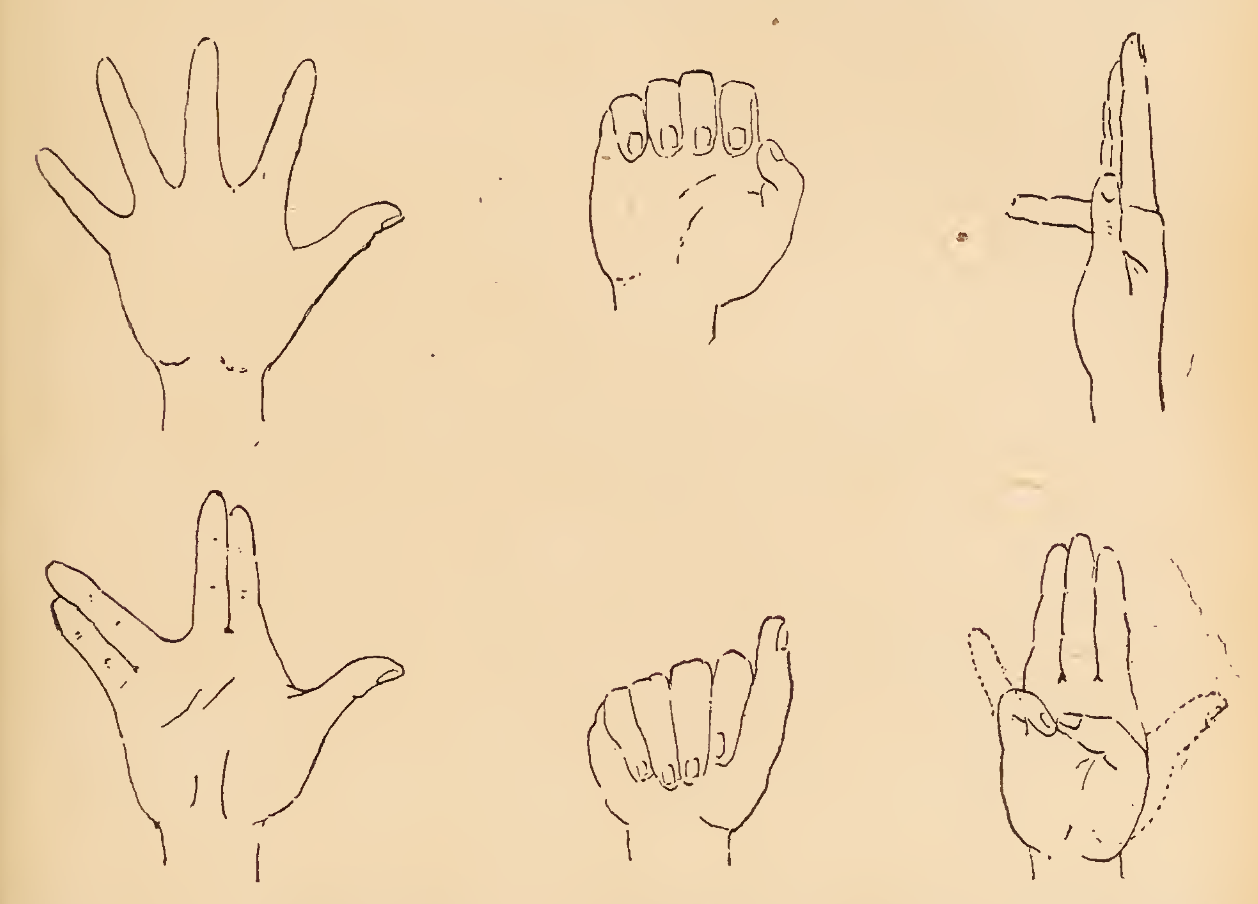


Fig. 200. — Exercices destinés à donner aux doigts une indépendance et une souplesse qui constituent le perfectionnement de la main.

dance des doigts : flexion et extension séparées, mouvements d'abduction et d'adduction, mouvements de circumduction (fig. 200 et 201). [Dr Albert Reibmayr.]

Les mouvements du poignet et ceux de l'avant-bras, pronation, supination s'ajoutent aux précédents et pétrissent la main beaucoup mieux que tous les exercices directs sur l'instrument, dont l'amplitude est toujours restreinte. C'est le seul moyen d'éviter la raideur et la crispation dès le début des études. M. Macdonald Smith[1] a créé en Angleterre une école pour la préparation de la main au jeu du piano et il obtient des résultats considérables. Nous avons fait beaucoup nous-même pour

1. Macdonald Smith, *Congrès international de l'Éducation physique*, 1900.

fixer le mécanisme du violon. C'est au professeur de musique d'enseigner ces choses comme c'est au professeur d'escrime à connaître les mouvements de l'épée (fig. 202, 203, 204, 205, 206).

Il faudrait encore dans tous les conservatoires où l'on fait

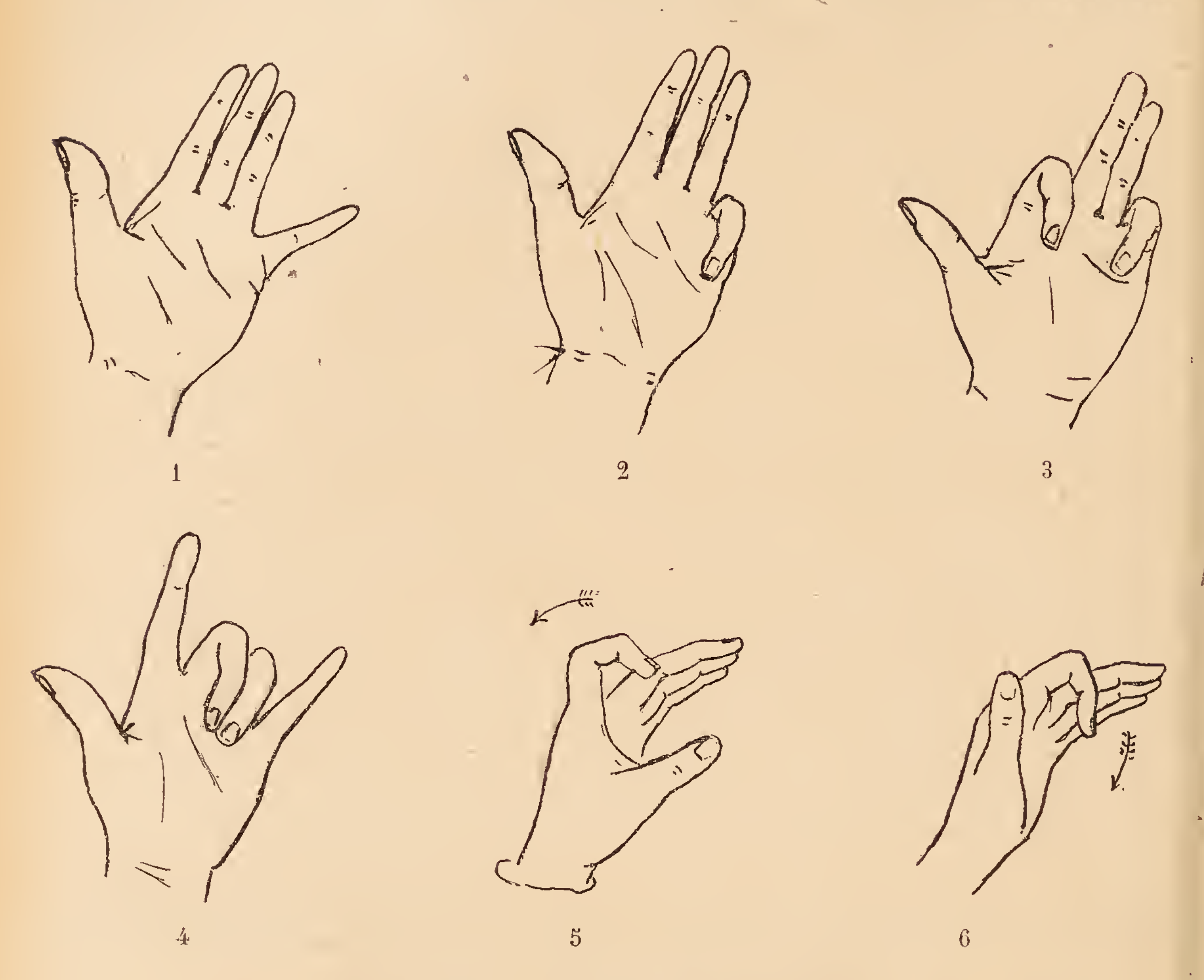


Fig. 201. — Exercices des doigts.

1. Écartement successif des doigts ; — 2, Flexion indépendante de chacun des doigts ; — 3, Flexion simultanée du 1er et du 4e ; — 4, Flexion simultanée du médius et de l'annulaire ; — 5, Mouvement complet de toutes les phalanges dans lequel l'extrémité du doigt décrit un arc de cercle suivant la flèche (Me Jaell) ; — 6, Mouvement en sens inverse.

abus du travail et de la précocité établir un enseignement gymnastique général afin de combattre ce que la spécialisation aux instruments de musique peut avoir de désastreux pour la santé.

Prestidigitation. — Il y a d'autres exercices de la main, chaque métier est à considérer sous ce rapport. Les prestidigitateurs produisent l'illusion par deux moyens[1] : l'habileté

1. A. Binet, *La psychologie de la prestidigitation.*

manuelle et la suggestion, ils distraient ou attirent l'attention

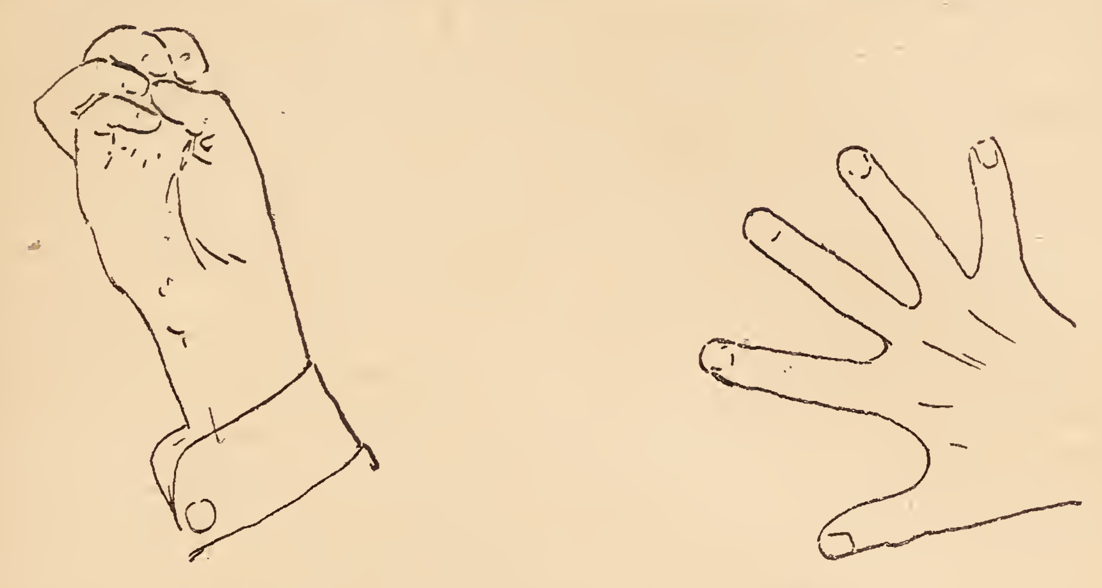


Fig. 202. — Exercices des doigts.

Rapprocher les extrémités des doigts dans la paume de la main et les écarter en étendant les doigts.

du spectateur par leur verbiage; le tour en lui-même est peu de



Fig. 203. — Exercices des avant-bras.

Placer successivement les mains en pronation et en supination, paumes en contact (M. Smith).

chose, il consiste principalement dans une influence suggestive.



Fig. 204. — Mouvement de flexion et extension de la main.

Cependant il est des tours d'adresse, le saut de coupe en est

un des plus difficiles; on voit (fig. 207) comment se produit la substitution d'une carte à l'autre pendant un léger mouvement de la main qui masque le mouvement principal des doigts.

Les anciens tours connus sous le nom d'escamotage des mus-



Fig. 205. — Mouvement latéral et circumduction du poignet.

cades donnent aux doigts beaucoup de dextérité ; il faut un exercice journalier pour y exceller.

Nous ne faisons que les citer en passant à l'appui de notre



Fig. 206. — Exercice de rotation des bras.

démonstration et pour rappeler combien l'éducation peut perfectionner la main, en rendre la fonction délicate alors qu'elle demeure un instrument grossier si on l'emploie seulement comme organe de préhension.

§ 2. — Mouvements éducatifs.

Mouvements ayant une qualité éducative. — Parmi les innombrables combinaisons de mouvements possibles avec le corps

humain, il en est d'anodines, d'inutiles, de nuisibles, de grotesques, de dangereuses, toutes ne sont pas bonnes ; il ne faut viser dans une méthode d'éducation que le perfectionnement par des moyens conformes à l'organisme humain et aux nécessités de la vie. La valeur d'une méthode se mesure aux avantages réels qu'on en tire. Nous ne voulons pas ici aborder les

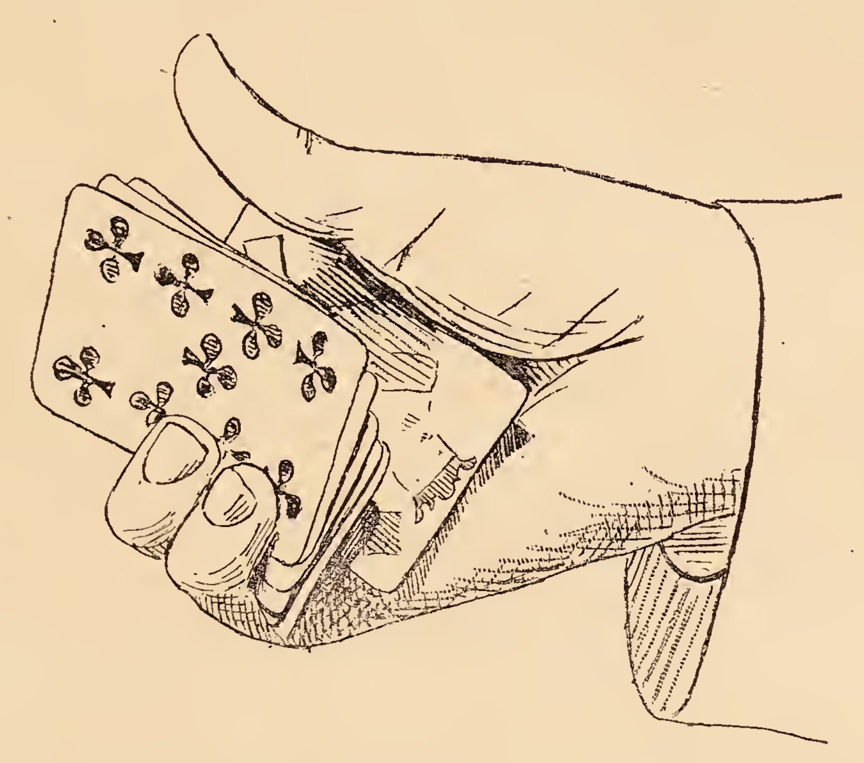


Fig. 207. — Éducation de la main par des tours d'adresse ; saut de coupe d'une seule main (tiré d'une série chronophotographique).

questions d'enseignement ; il est cependant nécessaire d'attirer l'attention sur certains mouvements utiles présentant un intérêt et une valeur éducative certains. La connaissance de leurs effets n'est pas du ressort de la pédagogie, mais en doit constituer les bases.

Considérons un sujet faisant fi de tout exercice méthodique et ne se livrant qu'aux exercices naturels : s'il joue et s'exerce, nous le voyons s'agiter, courir, sauter, exécuter des mouvements des bras et du tronc, ces mouvements sont ceux de la vie ordinaire ; il les exécute avec plus de violence peut-être, il les répète plus fréquemment ; mais, en se pressant, il étrique tous ses mouvements ; jamais il n'obtient l'effet si intense de l'amplitude complète sur laquelle nous avons tant de fois insisté. S'il avait de mauvaises attitudes, il les garde, bien plus, il les aggrave. S'il ne fait que des flexions il n'y a pas de raison pour

que les muscles extenseurs se raccourcissent et rétablissent l'harmonie dans sa forme ; le résultat obtenu est la conséquence logique des faits (fig. 208).

Avantage de la méthode dans les exercices. — Il serait superflu d'insister sur la supériorité des exercices méthodiques. Ce serait refaire tout le discours sur la méthode de Descartes. En nous



Fig. 208. — Attitudes d'un vélocipédiste et d'un gymnaste montrant l'attitude fléchie de tout le corps.

mettant au simple point de vue de l'amplitude, nous savons, les photographies nous l'indiquent, que librement, dans les jeux, nous ne donnons jamais à nos mouvements articulaires tout leur développement. Jamais l'effacement des épaules, l'extension du bras, l'extension du rachis ne sont assez complets pour contrebalancer les efforts constants de flexion ou l'action fléchissante de la pesanteur. Les mouvements sont trop vite exécutés, sans marquer dans les extenseurs les temps d'arrêt nécessaires à l'effet optimum. Il y a à ce sujet une différence complète entre une leçon d'escrime, de boxe ou de bâton et l'assaut. Dans une leçon, le coup est déterminé à l'avance et l'on a le temps de l'exécuter. Dans l'assaut il en est tout autrement. J'ai eu l'occasion de prendre une grande quantité de séries photographiques de ces exercices, les images obtenues (fig. 210) ne pouvaient se comparer aux images posées (fig. 209) ; les sujets m'ayant servi de modèles ne reconnaissaient plus leurs coups. Ils étaient loin de la pureté de style qu'ils enseignaient. Cela se comprend ; l'assaut

ou le combat sont choses complexes, on cherche à toucher, mais on se prépare constamment à parer et à riposter ; on se retient étant constamment préoccupé du jeu de l'adversaire ; toujours prêt à revenir sur soi-même, on ne se développe pas à fond et l'on donne ses coups en passant par des chemins tortueux, arrondis en quelque sorte ; ce ne sont pas là des mouvements amples.

Un mouvement complet donne aux muscles tout le raccour-

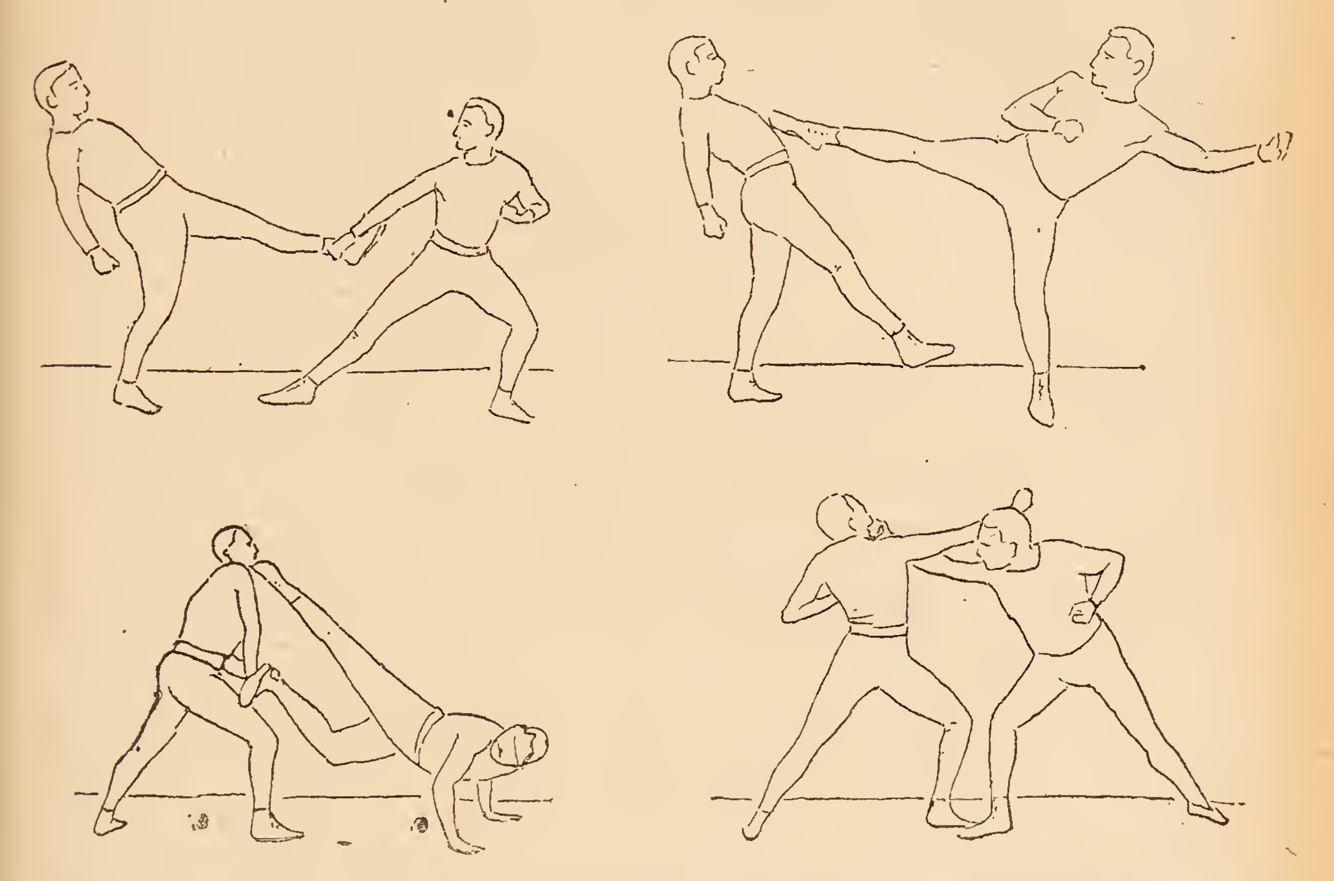


Fig. 209. — Attitudes de la boxe française comme on l'enseigne d'après des photographies posées de M. Charlemont.

Comparer à la figure suivante.

cissement et tout l'allongement dont ils sont capables, tantôt dans l'extension, tantôt dans la flexion en restant contracté un certain temps à fin de course.

Il n'y a pas de milieu, un mouvement est complet ou il est incomplet. Dans ce dernier cas, il ne faut plus en attendre l'effet maximum cherché, ce n'est plus un mouvement gymnastique sur lequel on peut compter pour obtenir un résultat certain au point de vue de la nutrition du muscle. C'est l'amplitude qui constitue l'exercice méthodique, jamais nous ne la voyons dans les exercices de jeux. Ces derniers constituent ainsi une gymnastique incomplète C'est de l'à peu près.

Mouvements ordinaires et mouvements gymnastiques. — Les muscles fléchisseurs sont généralement tous plus raccourcis que les extenseurs ; s'étendre à fond constitue déjà une gymnastique énergique et salutaire, puisque c'est tout le contraire

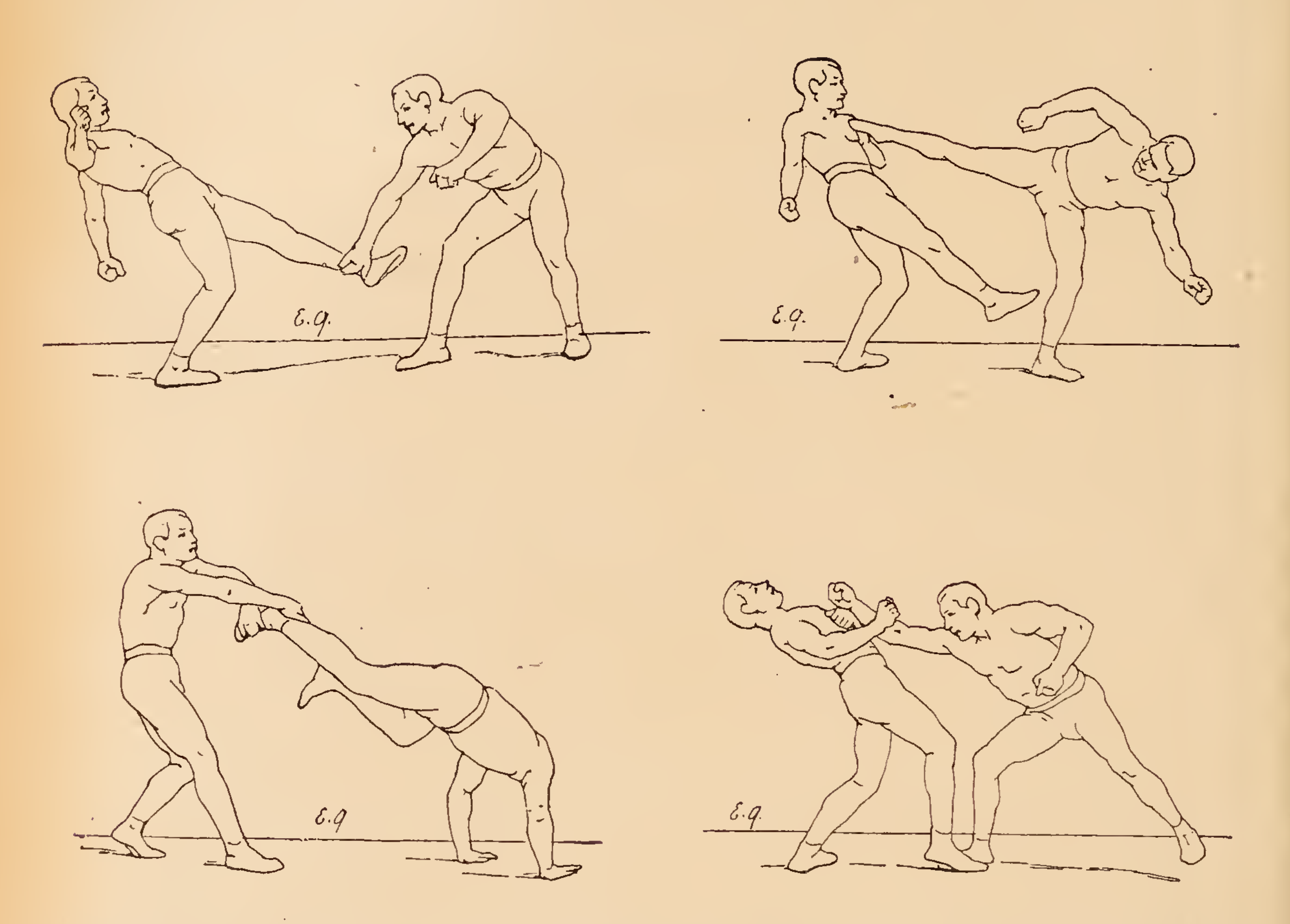


Fig. 210. — Attitudes prises pendant un assaut de boxe d'après des séries photographiques. On voit combien elles diffèrent des mêmes attitudes posées pour la démonstration (fig. 209).

de ce que l'on fait dans les mouvements ordinaires (fig. 211 et 212).

Pour cette raison, nous laisserons de côté une grande quantité d'exercices inutiles puisque nous les faisons sans cesse et nous en choisirons quelques-uns que nous exécuterons avec toute l'amplitude possible pour rétablir l'harmonie dans la forme du corps. On a cru longtemps nécessaire de faire successivement tous les mouvements articulaires dont le corps est susceptible, ou de se servir d'engins pour y rechercher des exercices compliqués et difficiles. L'expérience et le bon sens ont fait merci de ces exagérations.

Le corps est le meilleur appareil de gymnastique. — Le corps

est le meilleur appareil de gymnastique, il suffit de savoir s'en servir. Mais, pour s'améliorer, est-il nécessaire de faire avec son corps toutes les combinaisons de mouvements possibles? Point du tout. Nous n'en avons pas le temps et cela n'est pas utile.

Choix, classement et gradation des exercices. — Le choix des exercices, leur classement et leur gradation, voilà qui importe.

On a sur ce sujet des idées encore bien vagues ; l'ordre apparent des classifications usitées généralement cache un désordre et une ignorance profonds.

Il est impossible d'admettre une classification des mouvements basée sur la forme des appareils de gymnastique et de diviser les exercices en deux groupes : ceux qui se font les mains libres et ceux qui s'exécutent aux appareils portatifs ou fixes. Cela n'a rien de sérieux.

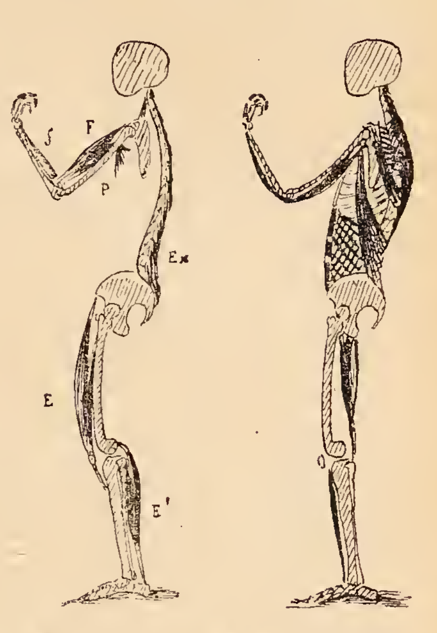


Fig. 211. — Schémas indiquant les masses musculaires toujours en action sur le corps dans les attitudes et les mouvements habituels.

f, F, fléchisseurs des doigts et de l'avant-bras ; P, adducteurs des bras ; E*x*, extenseurs du rachis et du bassin ; E, E', extenseurs de la jambe et du pied.

(La figure de droite indique les masses musculaires à fortifier.)

Autant vaudrait classer les médicaments d'après la forme des bocaux qui les contiennent en laissant de côté leurs propriétés médicinales.

Tout cela sent l'ignorance et ressemble aux premières classifications de l'histoire naturelle. On mettait alors dans un même groupe des animaux de même couleur ou d'une forme extérieure semblable sans s'occuper de leurs caractères communs, fondamentaux.

Le classement des exercices doit être basé sur leurs propriétés et les avantages qu'ils nous donnent. L'appareil est un procédé, le perfectionnement humain est le but. Tout exercice, tout engin, doit être fait pour l'homme, adapté à ses besoins, jamais nous ne devons accepter un mouvement sans lui reconnaître une propriété physiologique; l'appareil ne doit nous suggérer aucune combinaison sans raison.

Sur quoi baser le choix des exercices? Il est facile de répondre :

sur les qualités physiques qui nous manquent. L'acquisition de la vigueur et l'utilisation de la force acquise sont deux choses distinctes.

Le développement de la vigueur demande des conditions d'hygiène spéciales, une conformation favorable des organes, une structure générale du corps conforme à la beauté et à la force.

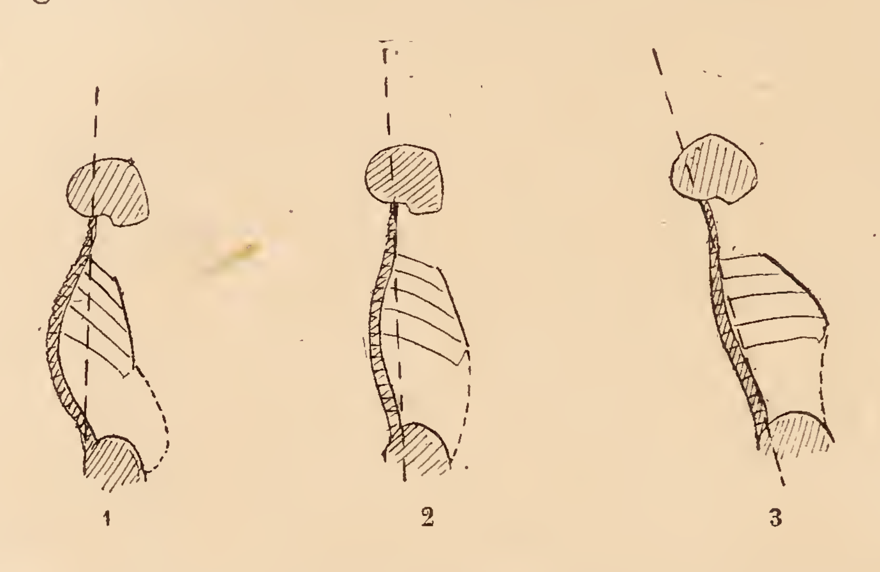


Fig. 212. — Différents degrés d'amplitude dans un mouvement.

1, Attitude penchée en avant (défectueuse); — 2, attitude normale droite; — 3, attitude d'extension (effet gymnastique intense).

L'application toujours dirigée vers la pratique de la vie doit nous apprendre à utiliser au mieux notre énergie sans la gaspiller en pure perte.

Ceci suffit à déterminer notre choix parmi tous les exercices fortifier l'épaule en la fixant, amplifier le thorax, rectifier les courbures vertébrales et donner de la solidité aux parois abdominales, voilà ce qu'il faut obtenir par des exercices convenables. Il n'est pas besoin de beaucoup d'appareils pour cela.

La question d'hygiène a été réglée ailleurs. Il faut vivre à l'air pur, s'exposer à la lumière, dépenser une certaine dose de travail, il faut aussi des soins de la peau, de la nourriture saine et de la gaîté pour y satisfaire. Les jeux de plein air remplissent mieux que toute gymnastique ces conditions. Mais ils sont incomplets, il y a des exercices beaucoup plus parfaits pour obtenir une forme et une attitude correctes. Les jeux et le mouvement augmentent l'activité de la nutrition, les exercices méthodiques s'emparent de ce mouvement nutritif et le dirigent en le localisant dans les parties faibles du corps.

La leçon de plancher d'un effet hygiénique bien faible est au

contraire parfaite au point de vue de la forme, mais il ne faut y laisser que des exercices intensifs et utiles. Nous les avons étudiés ailleurs. Il faut susciter l'effort et le porter où il est nécessaire (fig. 212).

Attitudes fondamentales actives. — On suscitera l'effort en

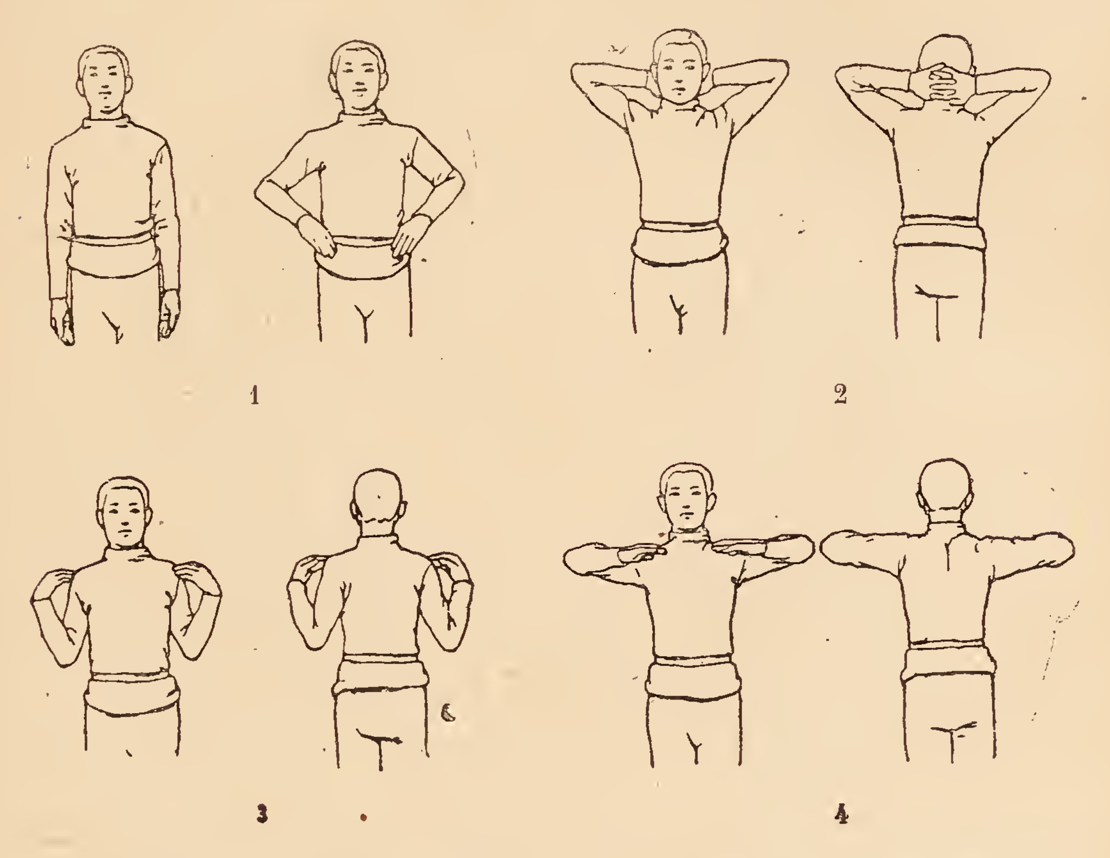


Fig. 213. — Attitudes fondamentales actives usitées dans la gymnastique scolaire.

1, mains aux hanches ; — 2, mains à la nuque ; — 3, mains aux épaules ; — 4, mains à la poitrine.

prenant des attitudes actives exigeant déjà pour être maintenues des contractions localisées à ces parties faibles, ayant un effet certain de redressement. On conservera ces attitudes pendant tous les exercices (fig. 213).

Il faut développer les parties faibles du corps. — Les parties faibles sont les muscles du dos et les muscles de l'abdomen. En maintenant les coudes dans le plan des épaules, on fixera les omoplates fortement contre le thorax par l'action des rhomboïdes, trapèzes, etc., et cette action continue sera indépendante du mouvement des bras.

Les attitudes, mains aux hanches, mains à la nuque, mains aux épaules et mains à la poitrine produisent cet effet.

La 1[re] est simple et bonne sans demander un effort considérable ;

La 2[e] rectifie la position de l'épaule et redresse activement la région cervicale ;

La 3[e] maintient les omoplates rapprochées ; elle est le point de départ pour les mouvements verticaux des bras ;

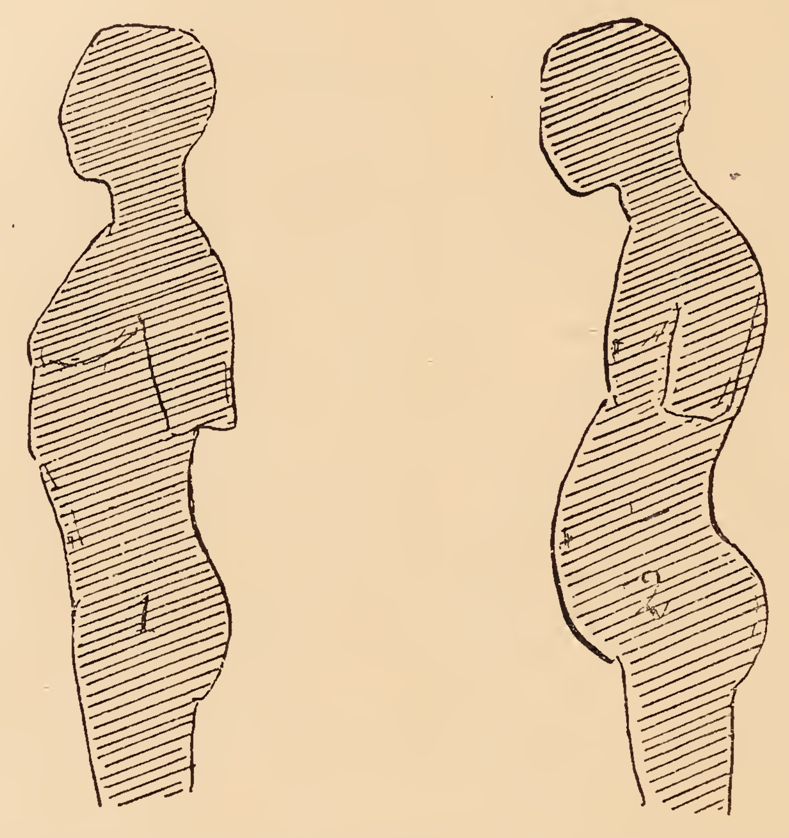


Fig 214. — 1, Type thoracique ; — 2, Type abdominal.

Pour passer du second au premier, il faut fortifier les muscles du dos et de l'abdomen.

La 4[e] produit le même effet sur l'épaule ; elle est le point de départ pour le mouvement horizontal des bras. Les avant-bras pourront s'étendre ou se fléchir, le bras et l'épaule se maintiendront fixes et la contraction permanente des fixateurs de l'épaule subsistera toujours.

Combinaison des attitudes des bras avec les différentes stations et fentes. — En associant ces attitudes à différentes fentes et aux inclinaisons du tronc en avant, en arrière et de côté on obtient un effet des plus énergiques, plus énergique que ne le permet aucun appareil de gymnastique [1].

1. Voir G. Demeny, *Guide du maître chargé des exercices physiques*, 2[e] édition ; Paris. de Rudeval.

La figure 215 montre les combinaisons de la station droite avec les inclinaisons du tronc en avant, en arrière et de côté et les mouvements de bras en partant des attitudes initiales.

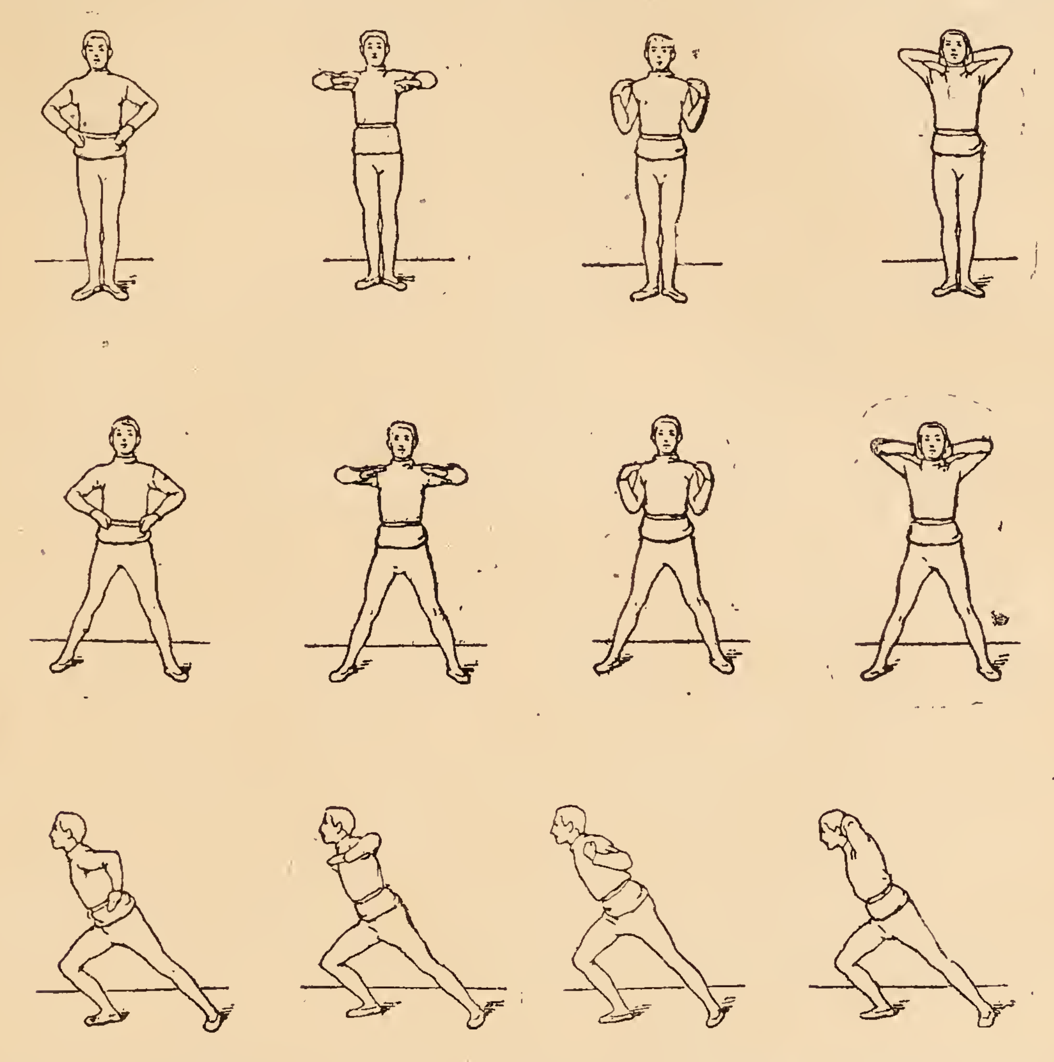


Fig. 215. — Combinaison de la station droite, de la fente latérale et de la fente en avant avec les attitudes des bras : mains aux hanches, à la nuque, aux épaules et à la poitrine.

Les figures 216 et 217 montrent les combinaisons des fentes en avant, en arrière et latérale avec les inclinaisons du tronc et les mouvements des bras horizontaux et verticaux.

Ces mouvements se comprennent facilement, ils procèdent d'une manière bien simple. Dans toutes les fentes il y a inclinaison du tronc et la jambe inclinée se trouve tendue dans le prolongement de la ligne d'inclinaison du tronc. Inclinaison du tronc en avant, jambe tendue en arrière ; inclinaison du tronc en arrière, jambe tendue en avant ; inclinaison du tronc de côté, jambe tendue du côté opposé à l'inclinaison. La dernière attitude n'est pas absolument nécessaire, l'immobilisation du bassin se fait mieux en fente latérale les jambes tendues.

Cette manière de procéder fixe les attitudes d'une façon précise et permet une gradation très facile ; en effet, à une fente plus ouverte correspond une inclinaison plus grande de la jambe tendue et par conséquent une inclinaison plus grande du tronc.

Il y a encore bien d'autres combinaisons possibles de ces

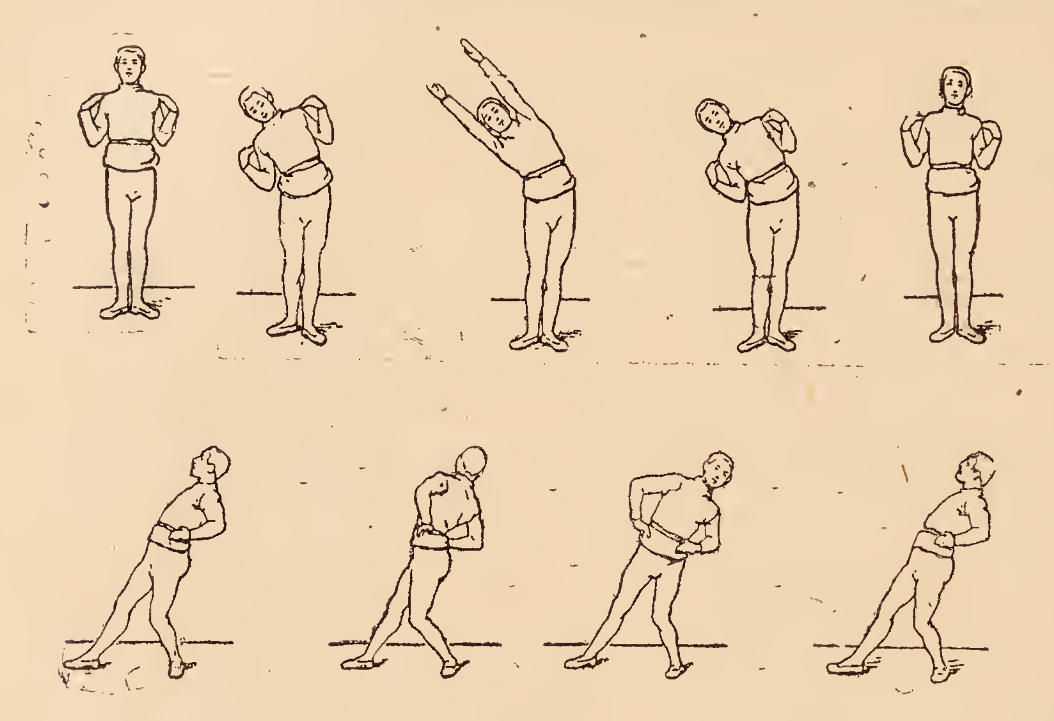


Fig. 216. — Attitudes énergiques utilisant le poids du corps et combinant les attitudes fondamentales avec les mouvements du tronc et des bras pour augmenter l'intensité de l'effet produit.

attitudes du corps ; nous renvoyons le lecteur aux ouvrages classiques de MM. Törngren, Norlander et Liedbeck.

Si l'on ajoute à ces exercices les mouvements naturels exécutés avec une cadence rapide, nous sommes en possession d'une quantité considérable d'éléments variés dont le choix seul pourra nous embarrasser.

Effets différents des attitudes et des mouvements vifs. — Cependant nous ne saurions trop le répéter, la différence d'effets entre les exercices ordinaires et les exercices à attitudes soutenues et extensions complètes est fondamentale.

Les exercices de vitesse sont presque nuls au point de vue esthétique, ils ont une certaine action sur la circulation du sang, mais cette action est toute mécanique elle est due aux contractions musculaires et aux actions centrifuges des mouvements de circumduction. Il ne faut pas confondre cet effet avec les

échanges nutritifs à la suite d'une dépense considérable de travail, échanges qui modifient la composition du sang et activent les réparations de l'organisme. Ce travail intime constitue l'effet hygiénique proprement dit, il ne doit pas être confondu avec une action mécanique favorisant le cours du sang et même avec le passage de l'air dans le poumon sans échanges gazeux.

Les exercices esthétiques d'attitudes ont certainement un

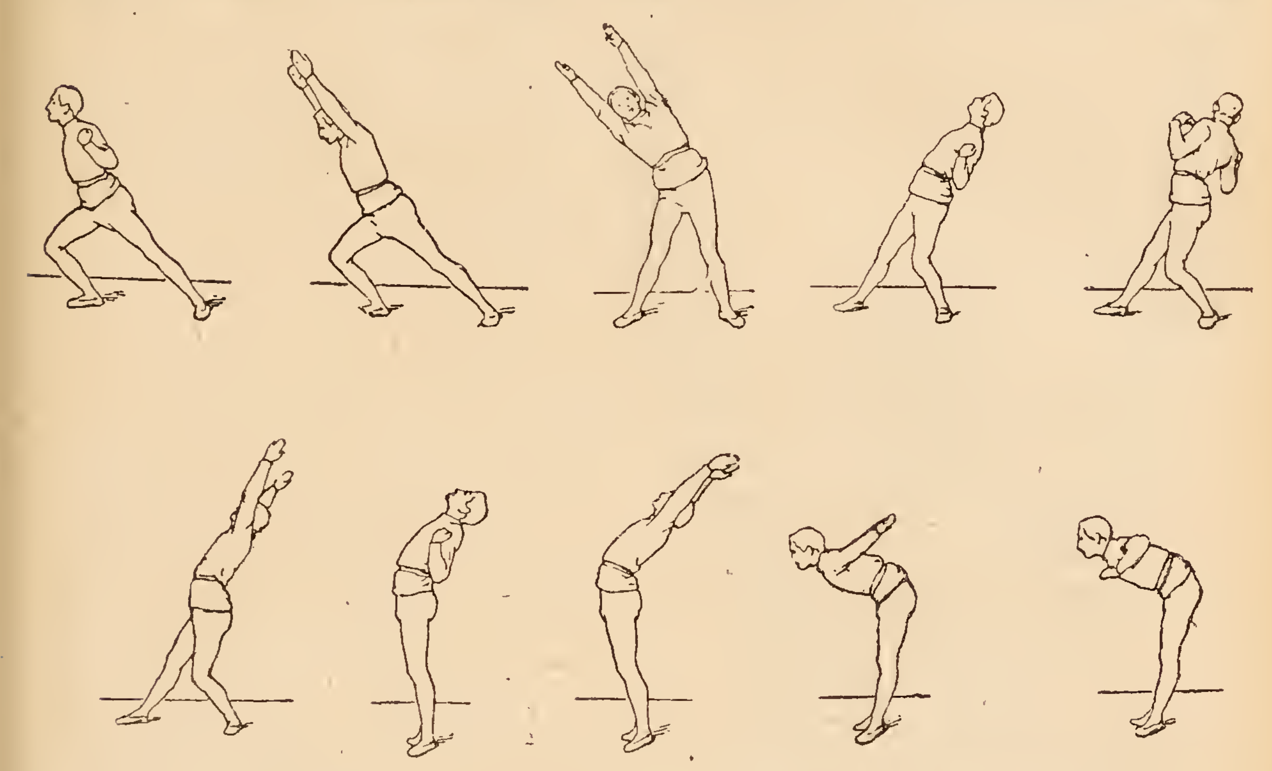


Fig. 217. — Combinaisons des fentes, inclinaisons et torsions du corps avec les mouvements des bras.

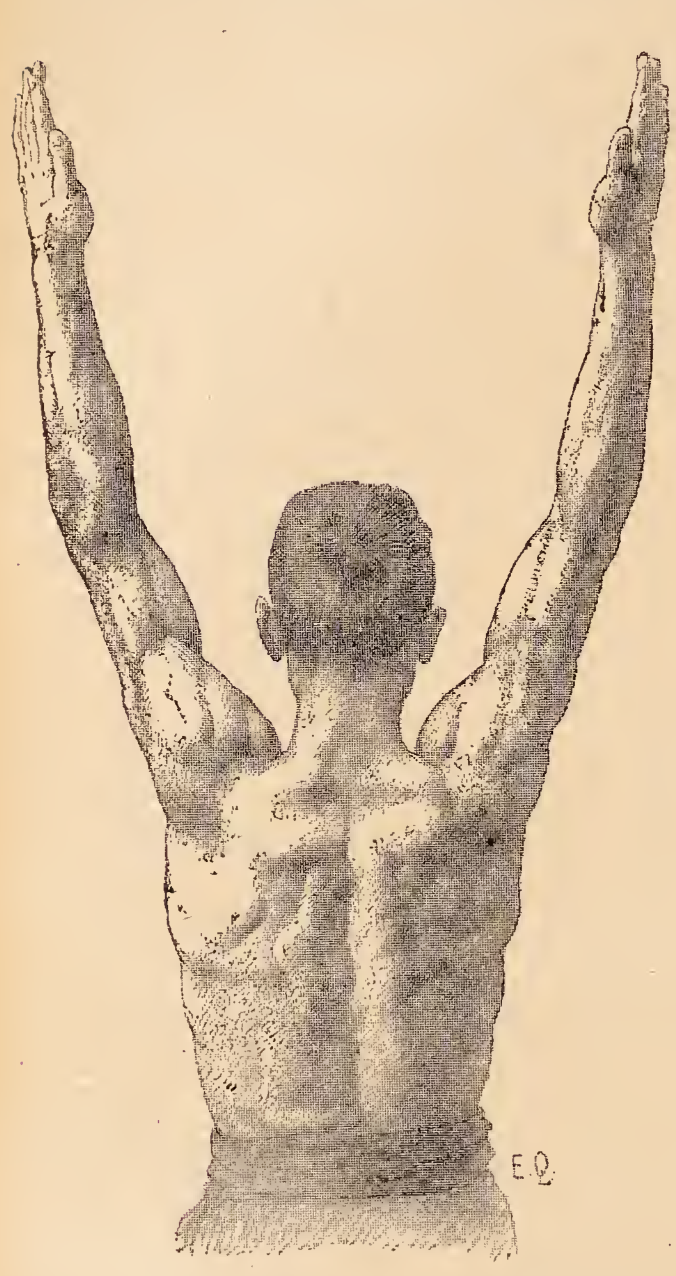
effet hygiénique par cela seul qu'ils favorisent les fonctions en donnant de l'aisance aux organes, au poumon, au cœur et aux gros vaisseaux, en activant aussi la circulation abdominale, mais ils sont avant tout esthétiques, comme les jeux de plein air sont avant tout hygiéniques.

Préjugés sur les mouvements saccadés et l'effet des poids additionnels. — Les attitudes soutenues et les mouvements doivent s'associer et ne peuvent se remplacer. Nous avons combattu l'erreur consistant à attribuer aux exercices ordinaires des membres plus d'effet sur le développement normal, parce qu'ils seraient exécutés plus brutalement ou les mains chargées de poids additionnels.

Il y a peut-être plus de confusion, plus de désordre et d'intensité dans les contractions, mais point d'effet esthétique plus

grand. Ce dernier ne peut dépendre que des associations des efforts localisés en vue du but à atteindre.

Dans les attitudes précédentes usitées dans la gymnastique suédoise, il y a antagonisme constant entre l'effort des extenseurs raccourcis au maximum et la tonicité des fléchisseurs, entre les pectoraux et grands dorsaux, entre les extenseurs du rachis et les muscles de l'abdomen.



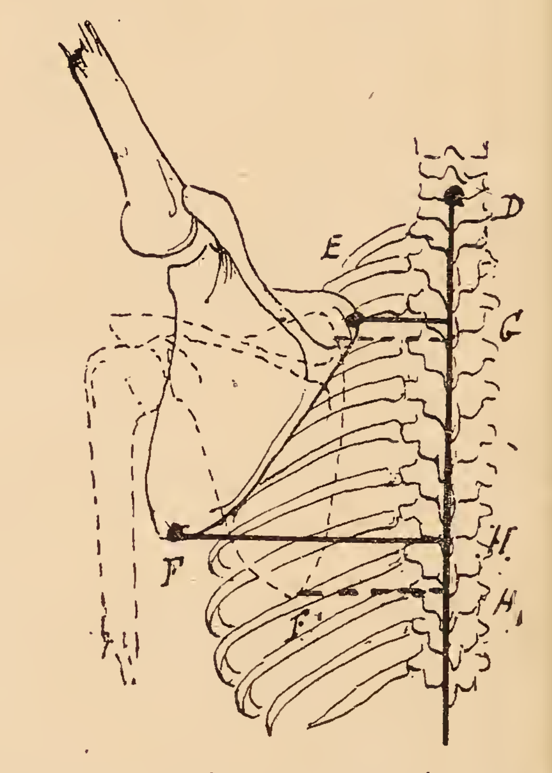


Fig. 218. — Élévation des bras dans le plan des épaules montrant le mouvement de bascule de l'omoplate et la contraction énergique des muscles fixateurs de l'épaule.

FH, F' H', distances de l'angle inférieur de l'omoplate à la ligne médiane ; on voit que le mouvement de bascule se fait autour de l'angle supérieur E qui reste presque fixe.

L'inclinaison du corps vient augmenter l'effort nécessaire à l'extension. Les bras élèvent le centre de gravité du tronc et forment un balancier énergique (fig. 218).

Dans le mécanisme de l'élévation verticale du bras, le grand dentelé est chargé de faire basculer l'omoplate pour porter les bras de la position horizontale à la position verticale. L'action du grand dentelé est oblique, s'insérant aux côtes sur le côté, il

attire nécessairement l'omoplate en bas et latéralement. Les omoplates tendent à s'écarter en basculant et à glisser sur les parois de la poitrine. L'élévation du bras à ses dernières limites n'est obtenue que par le mouvement de l'omoplate, c'est pourquoi il est extrêmement difficile de maintenir correctement la position. Il faut pour cela le concours de la portion inférieure

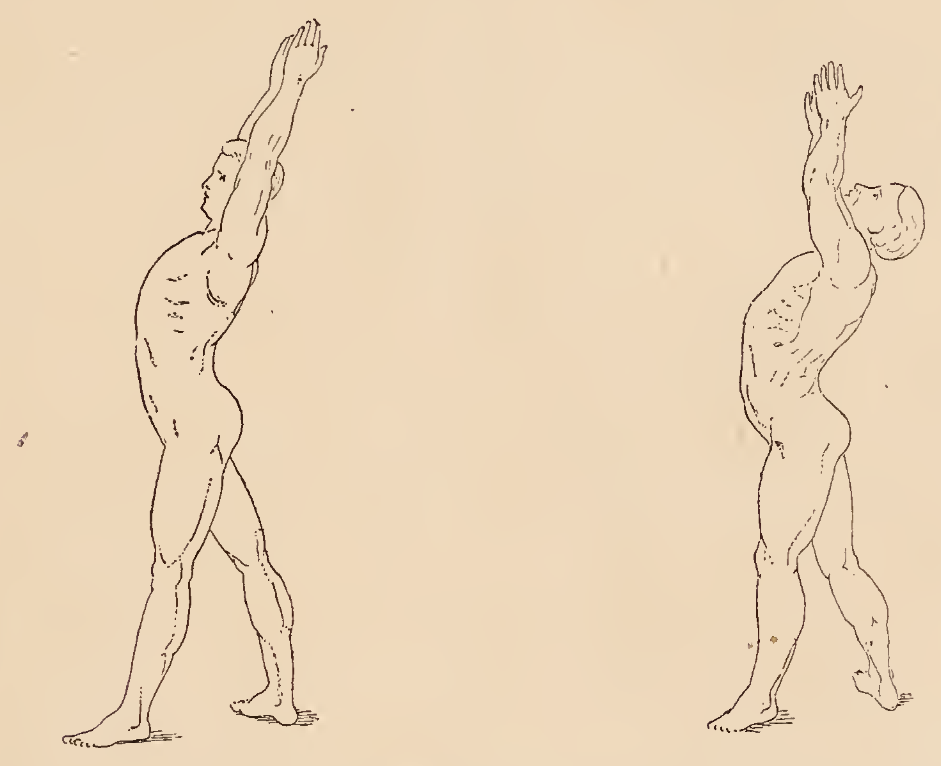


Fig. 219. — Attitude d'élévation des bras, correcte et incorrecte, d'après Ling (effet esthétique).

et moyenne des trapèzes, etc., du rhomboïde et de l'angulaire etc. (fig. 218 et 219) pour tirer en arrière l'omoplate et amener le bras fixé à celle-ci par le deltoïde et sus-épineux dans le prolongement du tronc.

Utilité de la correction dans l'attitude. — La correction dans l'attitude est l'indice certain d'un effort très énergique et bien localisé. N'est-ce pas remplir toutes les conditions voulues pour tirer des exercices naturels tout le bénéfice possible. La saillie de la poitrine et l'effacement de l'abdomen, le redressement de la région cervicale et lombaire, l'ouverture des pieds, les mouvements étendus de ceux-ci, l'extension des doigts sont également des choses essentielles obtenues certainement par l'extension correcte de tous les segments (fig. 219).

Ainsi compris les mouvements libres ont un caractère défini,

utile, assuré, ce ne sont plus les vagues assouplissements mous et sans effet ou secs et brutaux produisant des chocs dans les tendons et les ligaments articulaires. La vitesse ne doit pas être la seule garantie de l'énergie déployée, nous avons vu qu'elle n'exige que des contractions instantanées des muscles, contractions passant d'un groupe musculaire à son antagoniste sans transition et sans durée (voy. p. 102).

Ce n'est pas là une bonne manière de dépenser son énergie, on peut être énergique sans se presser et sans être brutal, ce serait même pour notre race française une qualité de savoir dominer sa nervosité, du moins momentanément. Cela n'empêche pas de mettre toute la vivacité possible dans la détente du coup de jarret et du bras quand nous faisons des exercices de sauts, de boxe et de lancer.

La souplesse ne s'obtient pas de cette façon, mais par l'éducation des mouvements, par leur indépendance et par l'ordre des contractions musculaires amenant l'affinement des centres nerveux.

Notre gymnastique militaire d'application a sa raison d'être, mais les mouvements préparatoires usités dans l'armée ont si peu de rapport avec le but à obtenir, qu'il serait préférable de les abandonner si on ne veut les modifier[1].

L'amplitude est factice, l'effet est apparent puisque à fin de course, dans les mouvements précipités, ce sont justement les antagonistes qui entrent en jeu pour produire du travail négatif et retenir le mouvement.

Erreur du classement des mouvements d'après leur forme extérieure. — Il existe une méthode imaginée par M. Happel classant les mouvements suivant leur forme géométrique extérieure. C'est la méthode sexlatérale[2]. Le principe consiste à exécuter indistinctement tous les mouvements du corps et à répéter chacun d'eux dans les six directions de l'espace. Si l'homme était un mannequin composé d'un squelette et de muscles, le problème serait résolu, mais il possède malheureusement des organes délicats, un système nerveux sensible,

1. Depuis que ces lignes ont été écrites, la réforme a été faite dans l'armée (voir le règlement nouveau de la gymnastique 1902).

2. J. Happel. *Le Maintien et le Mouvement de l'homme sain.*

une circulation à ménager, des poumons qui ne peuvent être troublés dans leur fonctionnement, on ne peut se tourner de toutes façons dans l'espace ni exécuter impunément des efforts dans toutes les attitudes et toutes les directions. Le changement d'attitude change la nature et la proportion de l'effort, il change toutes les conditions physiologiques ; varier la direction d'un mouvement n'est pas un moyen assuré de produire un effet différent ou inverse. Chaque exercice n'est pas si simple, il nécessite une analyse spéciale, analyse délicate dans laquelle l'orientation joue un rôle complexe puisqu'elle influe sur le cours du sang, sur les centres nerveux et sur la grandeur des résistances à vaincre.

La classification géométrique des mouvements d'après leur orientation n'a donc rien de physiologique, elle ne tient pas compte de la dépense de travail, elle est tout au plus un moyen mnémonique à l'usage des sociétés de gymnastique qui ne veulent point approfondir leur enseignement. Le travail de M. Happel est considérable, son ouvrage est une mine de matériaux, mais l'auteur soucieux d'un ordre factice n'a rien donné de substantiel à l'éducateur ; il a réuni tous les éléments possibles du mouvement comme un chimiste réunirait tous les corps de la nature sans en indiquer les propriétés utiles ou nocives. Il ne suffit pas d'être chimiste pour être pharmacien, quand la sélection n'est pas indiquée, l'abondance des matériaux devient une cause de désordre et de trouble pour l'esprit.

Classement physiologique des exercices. — Autre chose est le système de Ling auquel nous avons fait de larges emprunts, nous réservant de les justifier et de les compléter. Les principes de la méthode suédoise sont la nature humaine elle-même, on ne peut que s'y soumettre, on en critiquera les détails dans l'application, mais toutes adjonctions devront être faites dans le même esprit et pour amener l'accord plus parfait entre les moyens et le but. C'est le premier système ayant un plan et qui tienne debout, c'est là sa force à la condition qu'il progresse[1].

Le classement des exercices doit avoir pour base le genre de travail dépensé et leur effet psychique. Nous avons précisé

1. G. Demeny. *L'Éducation physique en Suède*, 2e édition ; Paris, Société d'éditions scientifiques.

ailleurs la violence de l'exercice et montré combien diffèrent au point de vue de leurs dangers et de leurs avantages les mouvements exigeant des contractions locales intenses et ceux qui dépensent une grande somme de travail généralisé.

Les troubles graves de l'effort et de l'essoufflement ont été indiqués à ce propos ; nous reviendrons sur l'effet psychique, mais déjà nous savons combien diffèrent les exercices réglés à l'avance, devenus presque automatiques et ceux qui demandent au contraire l'intervention continue de l'attention et de la volonté (voir *Bases scientifiques*).

La gymnastique suédoise vise presque exclusivement le côté esthétique, elle laisse encore dans le vague certains effets non moins importants du mouvement, la résistance à la fatigue, l'effet moral et l'effet économique. La science n'était pas assez avancée au temps de Ling pour préciser ces points essentiels qui sont les bases de l'éducation physique moderne. Nous avons essayé de combler cette lacune [1].

Préjugés au sujet des appareils de gymnastique. — On rencontre encore bien des préjugés qui ont pour point de départ une vague conception des effets de l'exercice. Ainsi pour beaucoup s'exercer consiste à faire du mouvement sous une forme quelconque et des efforts intenses, incohérents même.

Marcher ou courir est si naturel qu'on ne songe pas à considérer la marche ou la course comme un exercice gymnastique, tandis que la gymnastique semble commencer dès que l'on est suspendu par les mains. C'est là l'effort extrême, c'est là le summum de l'énergie dépensée et tous les exercices doivent avoir leur couronnement dans les exercices aux appareils. Nous avons vu combien cette manière de concevoir l'éducation physique est erronée.

La suspension par les mains est le moins violent des exercices puisqu'il ne dépense presque pas de travail et les habiles arrivent à faire presque tous les mouvements par élan. Si dans la locomotion avec les bras les efforts musculaires sont pénibles, nous en trouvons la raison dans la disproportion entre le poids du corps à mouvoir et les muscles moteurs; c'est à cause de l'interversion des points fixes et de l'emploi de ces muscles à un usage pour lequel ils ne sont pas construits (fig. 17).

1. Demeny. *Plan d'un enseignement supérieur de l'éducation physique.*

Les exercices de locomotion avec les mains ne constituent pas une progression avec les exercices libres, c'est autre chose. C'est évidemment une gradation pour les muscles abaisseurs des bras, mais cette gradation est mauvaise puisque tout d'un coup ils sont chargés de mouvoir le corps au lieu de mouvoir le bras, leur rôle normal.

Ce sont de plus des exercices spéciaux puisqu'ils localisent les contractions dans un groupe restreint de muscles. Nous verrons comment on peut établir une progression réelle et généraliser leur effet.

L'appui n'est pas l'opposé de la suspension. — L'erreur est plus grande encore d'opposer les exercices d'appui aux exercices de suspension et de croire à leur effet complémentaire, ce qui dispenserait de faire autre chose, c'est-à-dire de restreindre la gymnastique à ces seuls exercices.

Nous allons par une analyse succincte comparer ces deux sortes de mouvements.

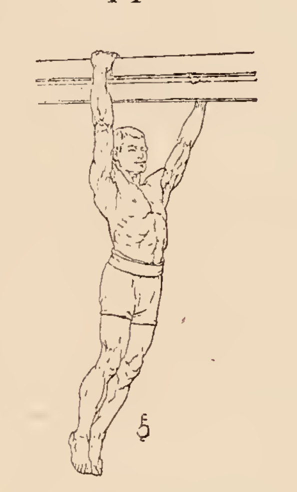


Fig. 220. — Suspension par les mains à deux barres horizontales parallèles.

Fig. 221. — Région postérieure du dos. Muscles grand dorsal et trapèze.

Parallèle de la suspension et de l'appui. Station a la suspension. — Il y a deux variétés de suspension :

La suspension étendue et la suspension fléchie (fig. 220).

La station en suspension allongée n'exige au besoin que la contraction des fléchisseurs des doigts qui font alors l'office de crochets et supportent tout le poids du corps. L'omoplate en continuité avec le bras par les ligaments articulaires et les muscles qui s'y rattachent tend à être soulevée en masse après avoir effectué son mouvement de bascule ordinaire ; aussi la contraction des trapèzes (partie inférieure), celle des dorsaux et pectoraux qui bien que légère, agit indirectement sur le moignon de l'épaule, est-elle indispensable pour soulager l'articulation *scapulo-humérale* et établir des liens entre l'épaule et le tronc (fig. 221).

Ainsi, pendant que les rotateurs du bras, les longues portions des biceps et des triceps maintiennent la tête de l'humérus contre la cavité glénoïde, le tronc tout entier est suspendu à l'omoplate et à la clavicule par les côtes et le sternum au moyen des muscles qui s'y insèrent, les côtes sont soulevées au maximum, la dilatation du thorax est complète. C'est pourquoi les mouvements respiratoires, surtout ceux des côtes inférieures sont presque supprimés pendant la suspension allongée, et la respiration presque totalement exécutée par le *diaphragme*.

Les jambes sont suspendues au tronc sans contraction nécessaire, les ligaments et les muscles distendus donnent même lieu à une sensation de lourdeur vague dans l'aine si la suspension est suffisamment prolongée.

Les courbures de la colonne dorsale et lombaire tendent à s'effacer. Cette station offre donc de grands avantages surtout au point de vue de l'ampliation du thorax, *mais cet allongement est absolument passif, s'il y a des actions musculaires, elles sont toutes fléchissantes.*

La suspension d'une seule main est plus pénible, son manque de symétrie peut être utilisé dans les cas de déviation.

La suspension doit se faire les bras demeurant parallèles, à l'écartement des épaules, les mains soit en pronation, soit en supination.

Plus l'écartement des mains est grand, plus les omoplates tendent à être écartées l'une de l'autre, plus les muscles qui les rapprochent (rhomboïdes, portion moyenne des trapèzes en particulier), se contractent, plus vite aussi vient la fatigue.

Station a l'appui tendu. — Dans la station à l'appui, le corps repose par les mains sur des obstacles fixes, sur deux barres parallèles par exemple, par l'intermédiaire des bras. Le tronc et les jambes sont suspendus à l'axe des épaules par l'intermédiaire des omoplates, des clavicules et des muscles qui relient ces os au tronc, muscles dont les insertions à ce dernier sont inférieures à celles du bras et de l'épaule (fig. 222).

Tout le poids du corps est donc transmis aux têtes humérales et la réaction des points d'appui, conséquences de ce poids, a pour effet de faire basculer en masse l'omoplate et la

clavicule, en soulevant le moignon de l'épaule, et en écartant son angle inférieur de la ligne médiane.

Pour s'opposer à ce mouvement de bascule ainsi qu'à l'élévation en masse du scapulum, le concours énergique des rhomboïdes surtout des parties moyènne et inférieure des trapèzes est nécessaire ainsi que celui des dorsaux qui ramènent indirectement les épaules en arrière, en agissant sur l'humérus.

Le bras est maintenu en extension par les triceps et l'équi-

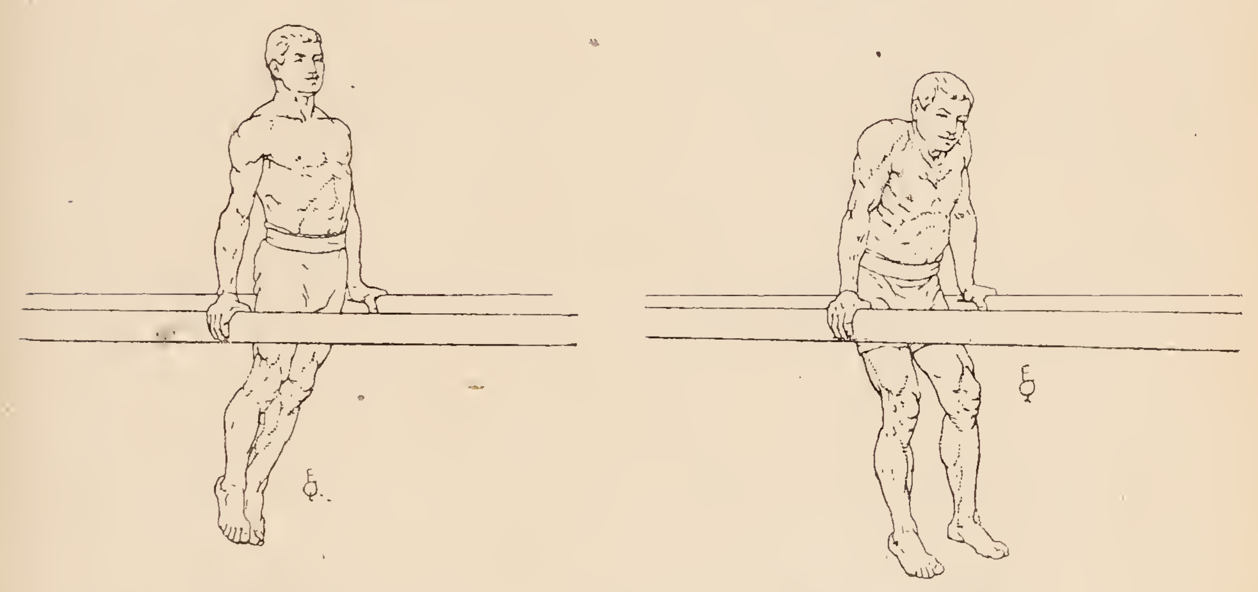


Fig. 222. — Bonne et mauvaise station à l'appui.

libre ne nécessite pas d'effort musculaire considérable lorsque les segments sont amenés dans le prolongement l'un de l'autre, l'olécrâne venant buter dans la cavité olécranienne.

Les fléchisseurs et extenseurs de la main et des doigts qui s'insèrent à l'humérus peuvent aussi concourir à la stabilité.

Les jambes sont suspendues au tronc, par les ligaments et muscles qui relient le fémur au bassin ; les contractions ne sont pas nécessaires, la pression atmosphérique les remplace en partie.

L'inconvénient de cette station est de ne point exiger les contractions musculaires vraiment indispensables à la dilatation thoracique.

Il en résulte que les mouvements, peuvent être bons ou mauvais suivant la manière dont ils sont exécutés.

Si en effet, la contraction des dorsaux et trapèzes n'intervient pas pour abaisser l'omoplate et attirer en arrière le moignon de l'épaule, les épaules seront élevées, la poitrine déprimée, et la

station à l'appui deviendra extrêmement défectueuse à tous les points de vue (fig. 222).

Notons aussi la pression consi-

Fig. 223. — Parallèle de la suspension et de l'appui sur les mains.

P P', poids du corps; R R R' R', réactions des barres aux points de suspension; *pp p' p'*, effet contraire d'un poids soutenu les bras élevés ou abaissés. Les muscles en action ont été indiqués par des traits forts.

dérable, supportée par le carpe, pression qui devient douloureuse par l'abus.

Si nous rapprochons ces deux analyses, nous voyons de part et d'autre une action verticale : le poids du corps ayant pour

effet de soulever l'épaule. Cette action verticale ne peut susciter que d'autres actions verticales opposées, c'est-à-dire mettre en jeu les muscles abaisseurs du moignon de l'épaule et du bras (fig. 223).

La suspension et l'appui exigent donc à peu près les mêmes contractions ; la seule différence est dans la position différente de l'omoplate et l'extension des avant-bras.

Le poids du corps tire dans un cas sur l'épaule dans la suspension et pousse verticalement dans l'appui.

Aucune action horizontale des muscles du dos n'est définie. Cependant cette action peut être surajoutée, seulement elle peut être énergique ou bien insuffisante, ceci explique les bonnes et les mauvaises attitudes prises pendant l'appui et la suspension.

La contraction n'est plus localisée dans les muscles du dos comme dans les attitudes esthétiques rapprochant les omoplates, cet effet est contrarié au contraire par la difficulté de l'attitude et l'effort considérable qu'elle nécessite. Les contractions agissant sur l'attitude de l'épaule sont indépendantes des contractions nécessaires à la suspension et à l'appui et finalement la suspension et l'appui n'ont pas d'action plus intense au point de vue de la correction de l'attitude de l'épaule que les mouvements sur le sol, ils suscitent surtout des réactions toutes fléchissantes (fig. 223).



Fig. 224. — Appui sur le sol et sur les mains à deux perches verticales. — Effort des pectoraux.

Défauts inhérents aux exercices de suspension et d'appui. — Il manque à ces exercices de suspension et d'appui la variété d'effets ; de plus, le corps étant vertical, la résistance à vaincre est le poids du corps entier du moment que les pieds ont quitté le sol; les exercices de suspension et d'appui ne sont donc pas non plus des exercices gradués.

En réalité ce sont des exercices spéciaux, ils ne doivent pas être pratiqués exclusivement mais alternés avec d'autres exercices suscitant des réactions musculaires horizontales,

il faut encore les graduer en ne passant pas immédiatement à la suspension et à l'appui par les mains, mais en conservant encore sur le sol un point d'appui, c'est-à-dire en ne faisant pas

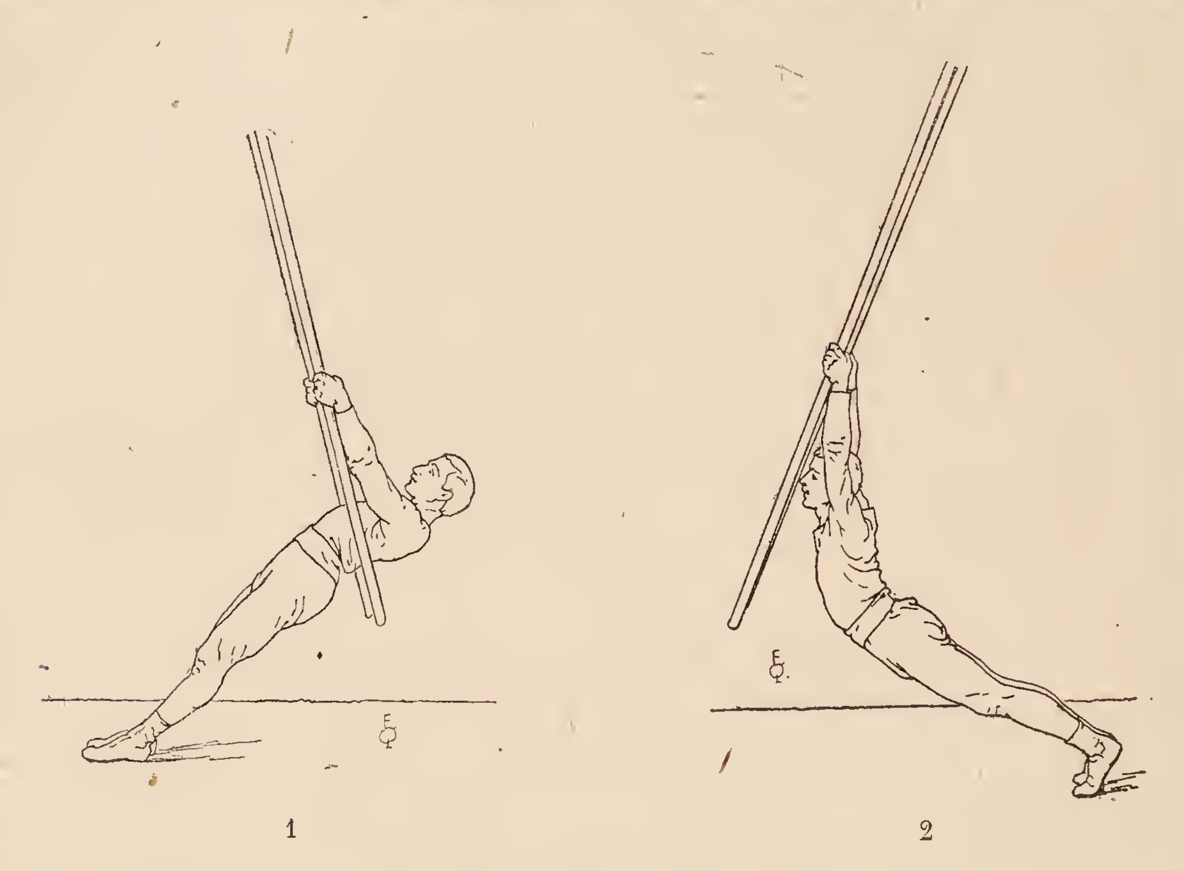


Fig. 225. — Suspension oblique à deux perches mobiles.
1, Effort des dorsaux ; 2, effort des pectoraux et abdominaux.

porter le poids du corps exclusivement par les mains (fig. 224 et 225).

Il n'est pas difficile de voir que l'inverse de la suspension et de l'appui serait de porter des poids dans les mains, les bras tendus verticalement dans l'élévation ou l'abaissement, ou encore de se tenir en équilibre sur les mains (fig. 223).

Combinaisons diverses des résistances pouvant s'exercer sur le corps verticalement, horizontalement et obliquement. — Examinons les combinaisons principales des résistances pouvant s'exercer sur le corps verticalement, horizontalement et obliquement. Il nous sera facile d'analyser les contractions musculaires qu'elles suscitent en nous demandant dans quel sens commencerait le mouvement si la contraction musculaire venait à cesser. Rappelons-nous que :

« La réaction musculaire est égale et opposée à la résistance à vaincre ».

« Les muscles dont on remplace la fonction tombent dans le relâchement ».

Le corps étant vertical la résistance à vaincre peut être verticale, horizontale ou oblique.

RÉSISTANCE VERTICALE DIRIGÉE VERS LE HAUT

Les bras élevés parallèles : effort d'abaissement de l'épaule

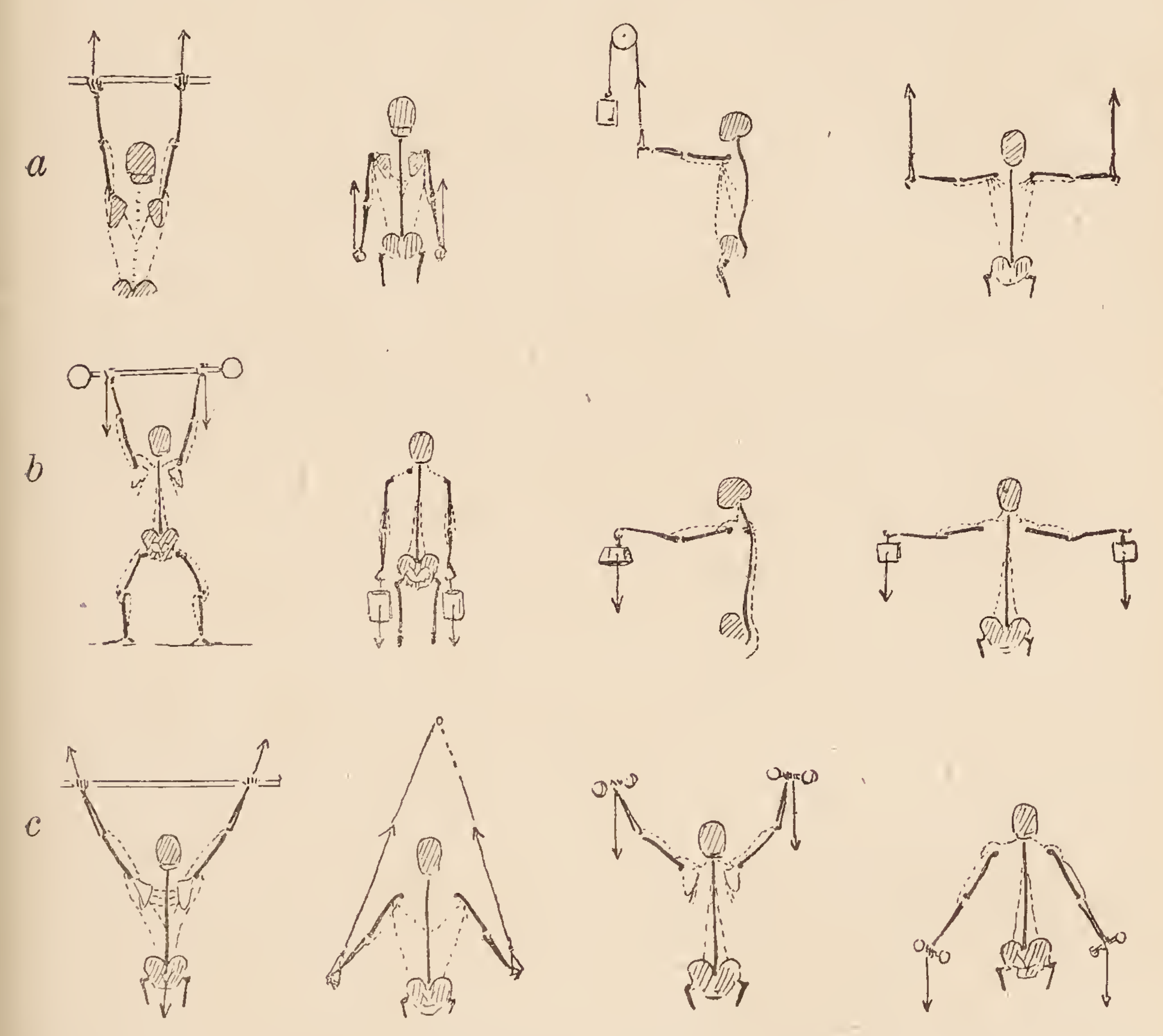


Fig. 226.— *a*, Résistance dirigée vers le haut et réactions musculaires qu'elle suscite ; — *b*, résistance dirigée vers le bas avec les réactions musculaires ; — *c*, résistance oblique en haut et oblique en bas.

Les masses musculaires entrant en jeu ont été indiquées par des pointillés.

et de flexion des bras et du tronc ; exemple : suspension allongée (fig. 226 *a*).

Les bras abaissés : effort d'abaissement et d'extension des bras ; exemple : appui tendu.

Les bras en avant : effort d'abaissement et de flexion du tronc ; exemple : appareils à contrepoids.

Les bras de côté : effort d'adduction ; exemple : appareils à contrepoids.

RÉSISTANCE VERTICALE DIRIGÉE VERS LE BAS

Les bras élevés : effort d'extension des bras et du tronc ; poussée contre une barre (fig. 226, *b*).

Les bras abaissés : effort de flexion des bras et d'extension du tronc ; porter des fardeaux à la main.

Les bras en avant : effort d'élévation et d'extension du tronc ; haltères.

Les bras de côté : effort d'élévation et d'extension du tronc ; haltères.

RÉSISTANCE OBLIQUE EN HAUT

Les bras obliques en haut : effort d'abaissement de flexion des bras et de rapprochement des omoplates ; suspension bras écartés (fig. 226, *c*).

Les bras obliques en bas : effort d'abaissement des omoplates ; appui bras écartés.

RÉSISTANCE OBLIQUE EN BAS

Les bras obliques en bas : effort de flexion des bras et d'extension du tronc ; tirer sur des cordes attachées au sol.

Les bras obliques en haut : effort d'extension des bras et du tronc ; poussée contre une barre (fig. 226, *c*).

RÉSISTANCE HORIZONTALE EN AVANT

Les bras en avant : effort de flexion des bras et d'extension du tronc ; traction sur un contrepoids, luttes (fig. 227).

Les bras de côté : effort d'abduction des bras et de rapprochement des omoplates, extension du tronc ; traction par un contrepoids, luttes.

Les bras élevés : effort d'abduction et d'élévation des bras et d'extension du tronc ; traction par un contrepoids, luttes.

Les bras abaissés : effort d'adduction des bras et de flexion du tronc ; traction par un contrepoids, luttes.

RÉSISTANCE HORIZONTALE EN ARRIÈRE

Les bras en avant : effort d'extension des bras et de flexion du tronc; traction par un contrepoids, luttes (fig. 228).

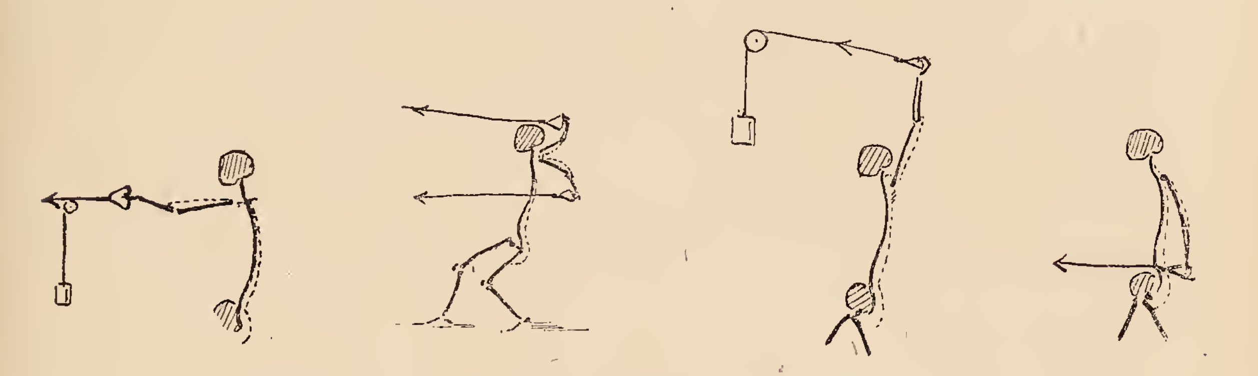


Fig. 227. — Résistance horizontale en avant.

Les bras de côté : effort d'adduction des bras et de flexion du tronc; traction par un contrepoids, luttes.

Les bras élevés : effort d'abaissement des bras et de flexion du tronc; traction par un contrepoids, luttes.

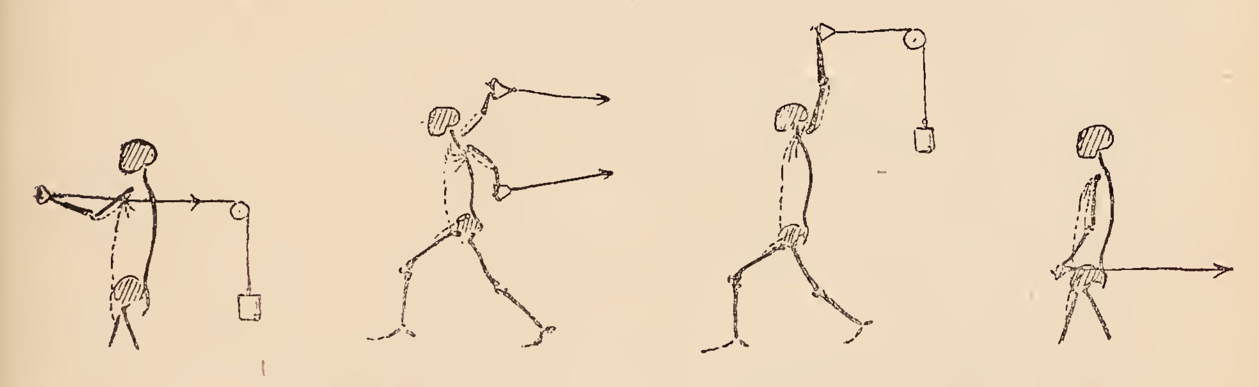


Fig. 228. — Résistance horizontale en arrière.

Les bras abaissés : effort d'adduction des bras et d'extension du tronc ; traction par un contrepoids, luttes.

RÉSISTANCE HORIZONTALE DE CÔTÉ

Les bras en avant, traction en dehors : effort d'adduction des bras (pectoraux) et de torsion du tronc; appareils à contrepoids, luttes (fig. 229).

Poussée en dedans : effort d'abduction et de torsion du tronc; appareils à contrepoids, luttes.

Bras de côté, traction en dehors : effort de flexion des bras

et des pectoraux, rapprochement des omoplates; appareils à contrepoids, luttes.

Poussée en dedans : effort d'extension des bras; appareils à contrepoids, luttes.

Les bras élevés, résistance en dehors : effort d'élévation des bras; appareils à contrepoids, luttes.

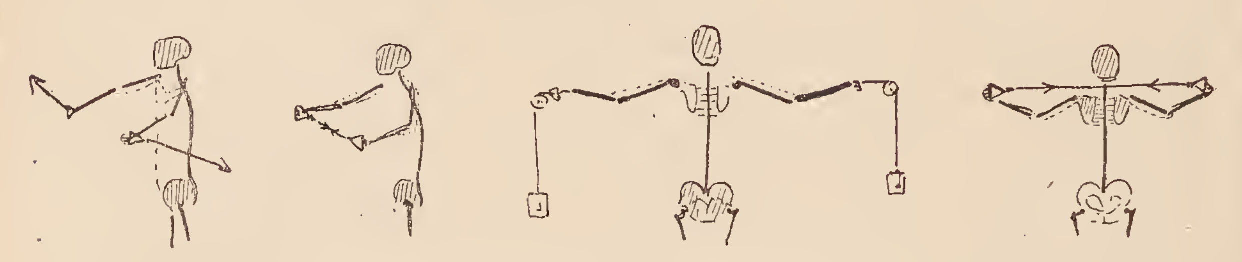


Fig. 229. — Résistance horizontale de côté, en dehors et en dedans.

En dedans : effort d'abaissement des bras; appareils à contrepoids, luttes.

Les bras abaissés, résistance en dehors : effort d'adduction des bras; appareils à contrepoids, luttes.

En dedans : effort d'élévation des bras; appareils à contrepoids, luttes.

CORPS OBLIQUE EN AVANT

Effort des extenseurs du tronc : sur un banc, dans la fente en avant ou couché.

CORPS OBLIQUE EN ARRIÈRE

Effort des fléchisseurs du tronc; exemple : dans la fente arrière ou assis sur un banc.

A L'APPUI SUR LES MAINS ET SUR LES PIEDS

Le ventre au sol : effort des extenseurs et adducteurs des bras et fléchisseurs du tronc.

Le dos au sol : effort des abducteurs des bras et des extenseurs du tronc.

A l'espalier : effort des fixateurs de l'épaule et extenseurs du tronc.

Appuyé contre des perches fixes : effort des adducteurs et extenseurs du bras.

Les pieds sur le sol, les mains à une barre : effort des fléchisseurs des bras et fixateurs de l'épaule.

CORPS OBLIQUE DE CÔTÉ

Debout : fléchisseurs latéraux du tronc du côté opposé.

A l'appui sur la main et sur le pied : adducteurs ou abducteurs du bras suivant l'inclinaison du bras sur le sol, fléchisseurs latéraux du tronc.

CORPS HORIZONTAL

Couché sur un lit : repos.

Couché raide sur deux obstacles : face au sol, effort des fléchisseurs du tronc ; face en l'air, extenseurs du tronc.

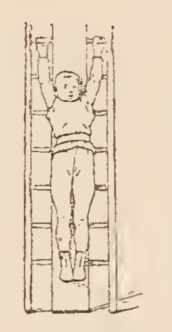
De côté en suspension latérale : fléchisseurs du bras élevé, extenseurs du bras abaissé ; fléchisseurs latéraux du côté opposé au sol.

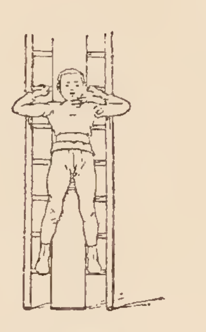
Suspension d'un bras et appui de l'autre : fléchisseurs et extenseurs respectifs.

Classement d'après l'action mécanique. — Dans tous ces exemples le classement est fait d'après l'action mécanique des



1. Suspension allongée.





2. Echelle dite orthopédique.



3. Lancer les bras horizontalement.

Fig. 229 *bis.* — Exercices dont l'action extensive est purement passive.

L'effet réel est de susciter les actions fléchissantes des muscles pectoraux sans améliorer la position de l'épaule, ni localiser la contraction dans les dorsaux utiles au redressement.

résistances sur les groupes musculaires, il n'est certainement pas complet, mais il vaut toujours mieux qu'un classement fait d'après la forme géométrique extérieure du mouvement. Il existe beaucoup de mouvements où les bras sont portés en abduction en arrière ou en élévation sans que pour cela les abducteurs ou muscles du dos soient nécessairement sollicités, la résistance à vaincre porte au contraire entièrement sur les muscles pectoraux. Ces exercices n'ont donc qu'un effet nul et même contraire à la fixation de l'épaule, au redressement du rachis et à la dilatation thoracique (fig. 224).

Effet apparent des mouvements. — Dans les mouvements indi-

qués dans les figures 224, 225,2, 229 *bis*,3, l'ouverture ou l'abduction des bras est passive et produite par la résistance à vaincre. La contraction porte sur les pectoraux, les muscles du dos effaçant les épaules sont relâchés.

L'analyse élémentaire la plus simple suffit à détruire les préjugés existant à cet égard.

Gradation d'intensité des exercices. — La gradation des exercices est une condition essentielle de leur efficacité et de leur adaptation convenable à l'état de chacun.

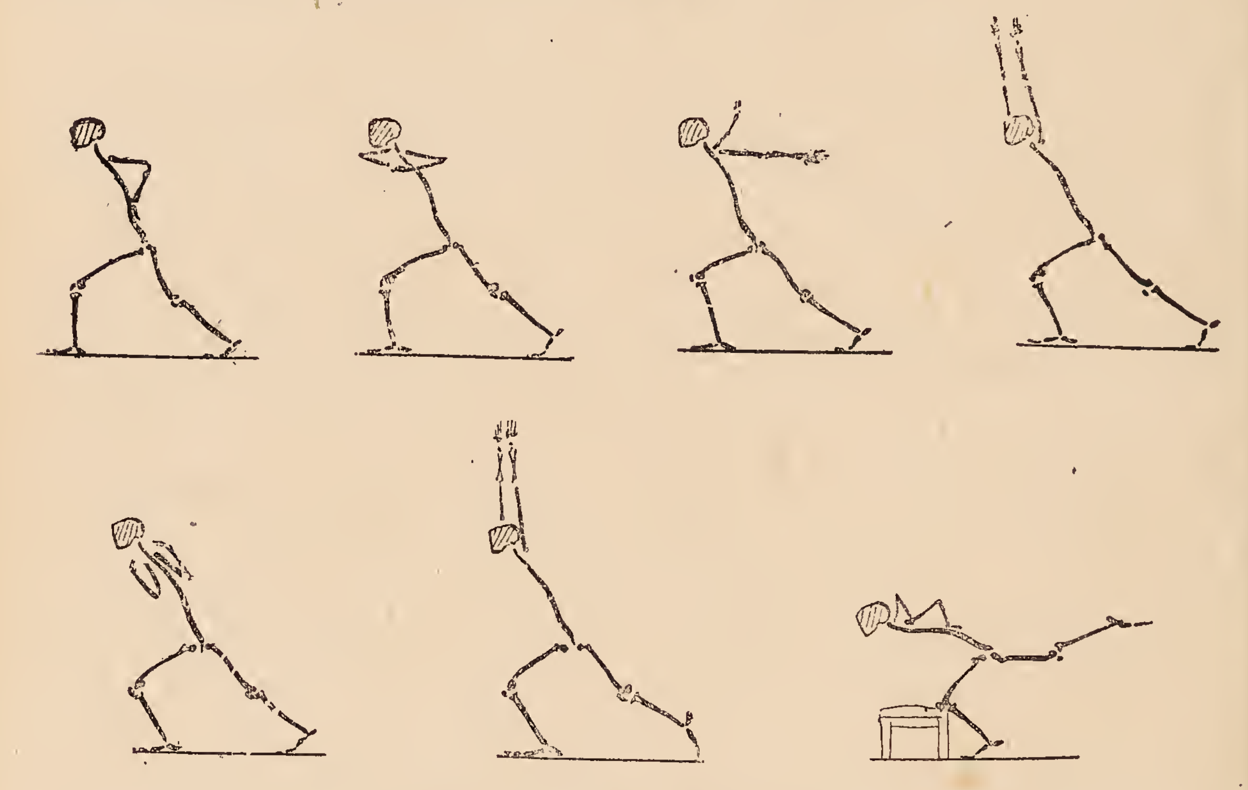


Fig. 230. — Gradation dans les exercices de fentes. — Contraction des extenseurs; muscles du dos.

La gradation se base sur la *violence* de l'exercice et sur sa *complication*.

La *violence de l'exercice* peut consister, nous l'avons vu précédemment, dans les *efforts statiques* intenses suscités dans les luttes, poids, grimper, attitudes, résistances à vaincre, ou dans une *grande dépense de travail dans un temps donné* (marches, courses, sauts, ascensions de montagne...), les deux facteurs du travail sont la masse à mouvoir et la vitesse de progression.

La complication de l'exercice demande un effort d'attention et une action coordinatrice des centres nerveux.

Les éléments de gradation sont généralement obtenus dans la pratique par des positions fondamentales plus difficiles,

inclinaisons plus grandes du corps, une amplitude plus complète des mouvements, une durée plus longue des contractions soutenues, une rapidité plus grande dans la cadence, une répéti-

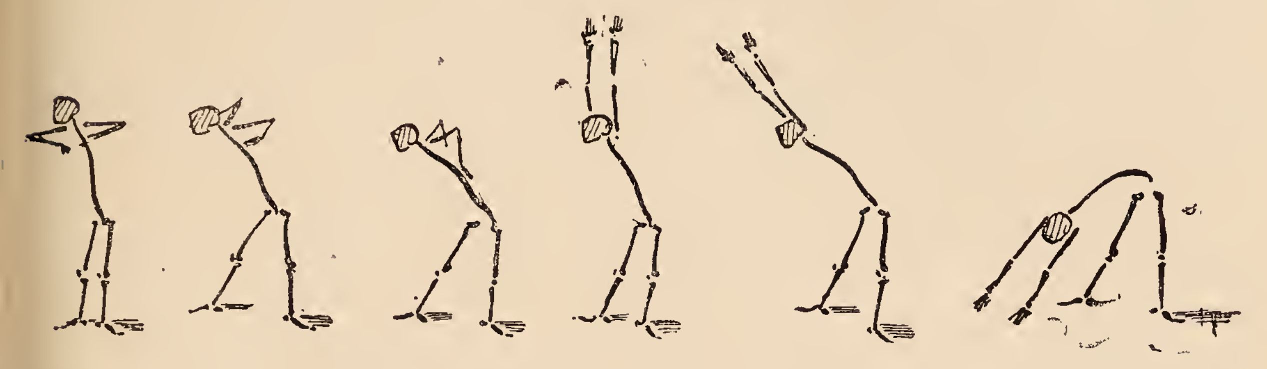


Fig. 231. — Gradation dans les exercices en fente latérale s'adressant aux extenseurs.

tion plus fréquente de l'exercice et une combinaison plus compliquée des mouvements.

Somme toute une bonne gradation doit être conforme à

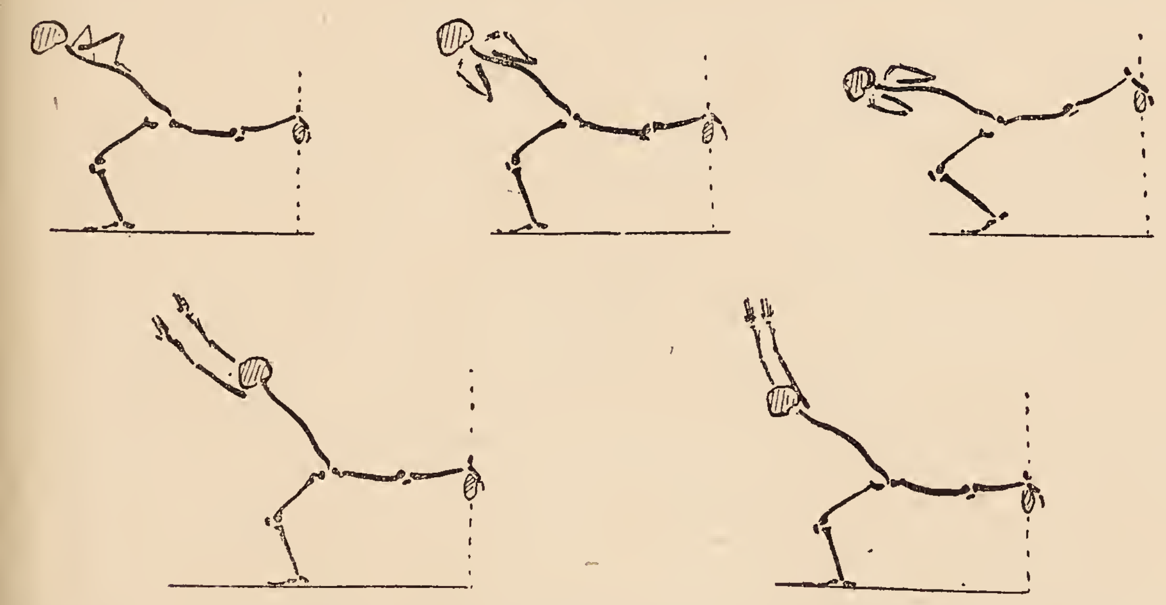


Fig. 232. — Gradation dans l'intensité des contractions des extenseurs, corps incliné, pied accroché à l'espalier.

l'évolution de l'élève et produire en définitive un effet utile plus intense.

Nous citons ci-contre quelques exemples de séries graduées formant des familles de mouvements et usitées dans l'Institut central de gymnastique de Stockholm. Ces séries nous ont été indiquées par le professeur Silow (fig. 230 à 242).

Dans les exemples cités on reconnaîtra combien l'amplitude de l'exercice exerce d'effet sur sa violence et l'intensité des

contractions surtout lorsqu'on reste dans la position finale (voy. fig. 242).

Classification physiologique des mouvements (voir note 2).

Echelles jumelles. — Les échelles jumelles sont éminemment propres à établir une gradation dans les exercices d'appui et de suspension. Elles permettent :

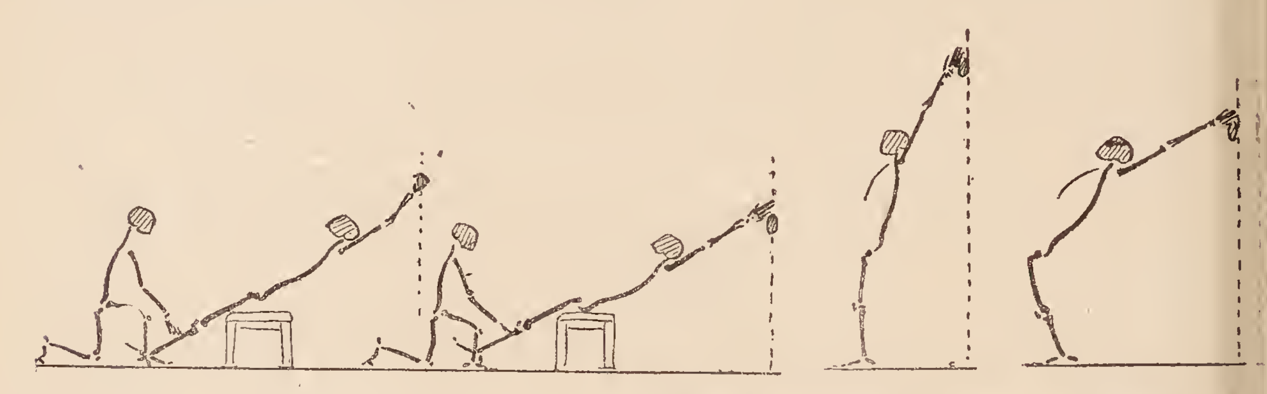


Fig. 233. — Exercices gradués en position inclinée, appui au mur, et s'adressant aux muscles fixateurs de l'épaule.

1° Des appuis sur les mains le corps reposant à terre (fig. 243 à 245).

2° Des appuis sur les échelons avec les mains et les pieds (fig. 246).

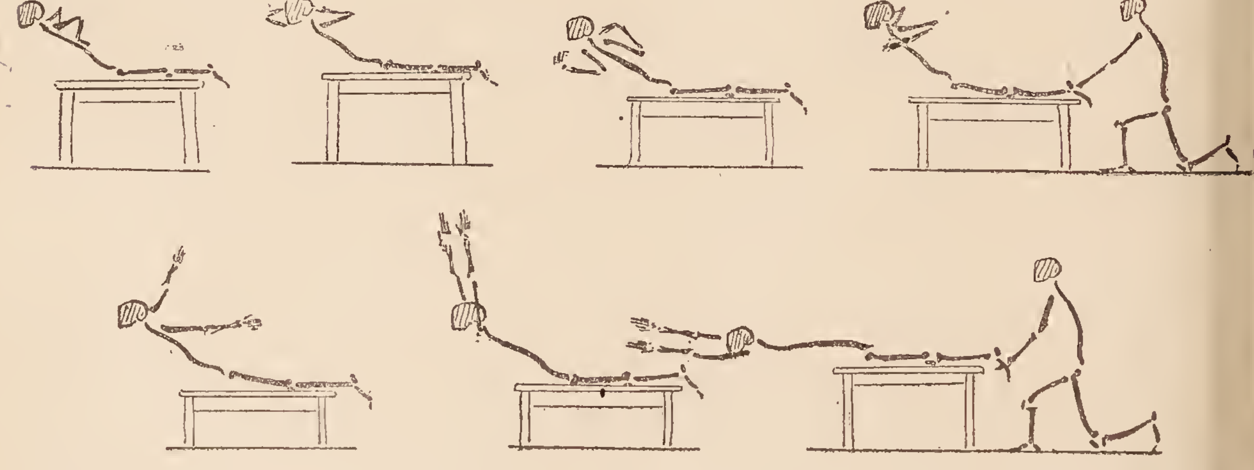


Fig. 234. — Exercices gradués en position couchée s'adressant aux muscles du dos.

3° Des suspensions et des appuis sur les échelons avec les mains seulement (fig. 247).

Le poids du corps étant réparti sur les mains et sur les pieds, l'effort musculaire des bras peut être ainsi gradué, ce qui n'aurait pas lieu en se suspendant totalement par les mains. Les échelons peuvent être saisis à des hauteurs variables les

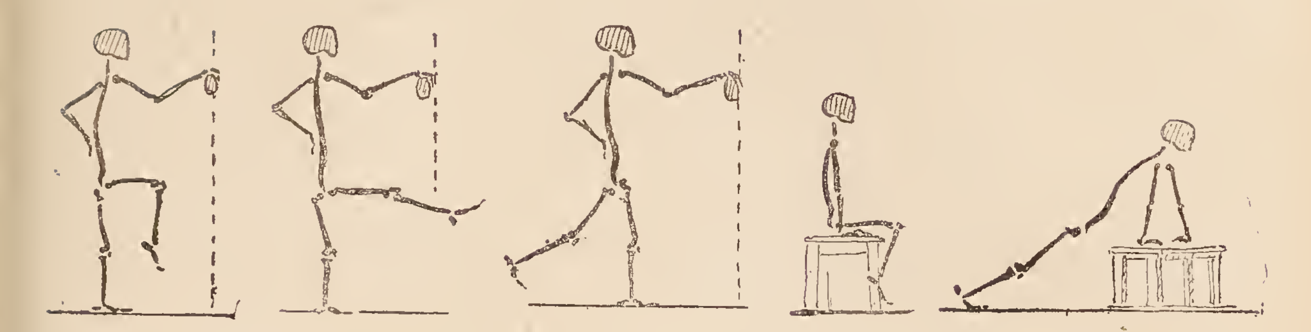


Fig. 235. — Exercices gradués pour les muscles de l'abdomen en station droite et à l'appui sur un banc.



Fig. 236. — Exercices gradués pour les muscles de l'abdomen étant couché sur le dos.

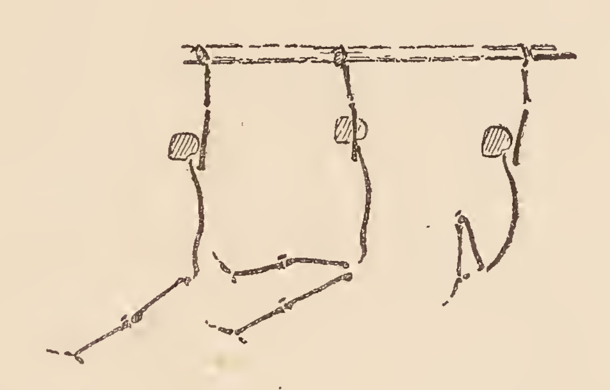


Fig. 237. — Exercices gradués pour les muscles de l'abdomen en suspension allongée.

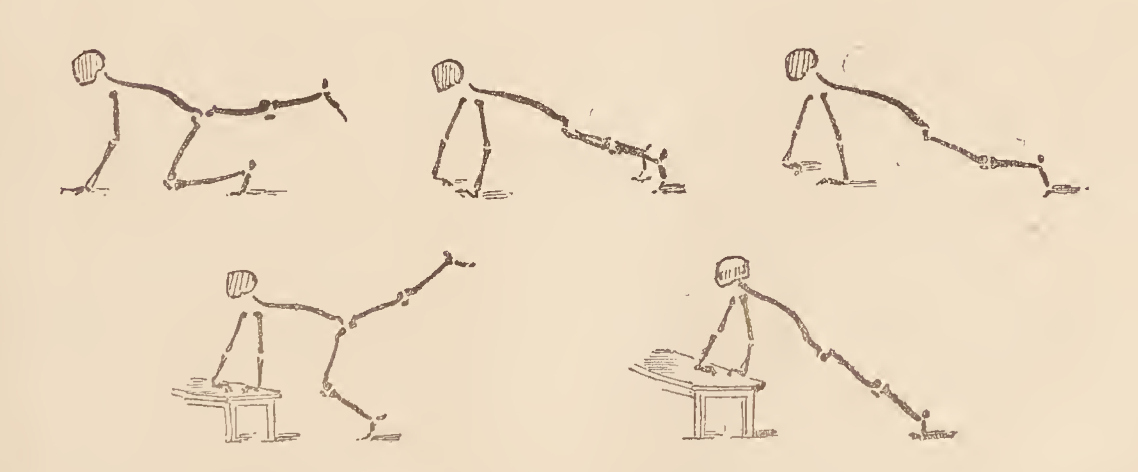


Fig. 238. — Exercices gradués pour les muscles de l'abdomen étant à l'appui oblique.

pieds reposant sur le sol, cela permet une obliquité du corps et

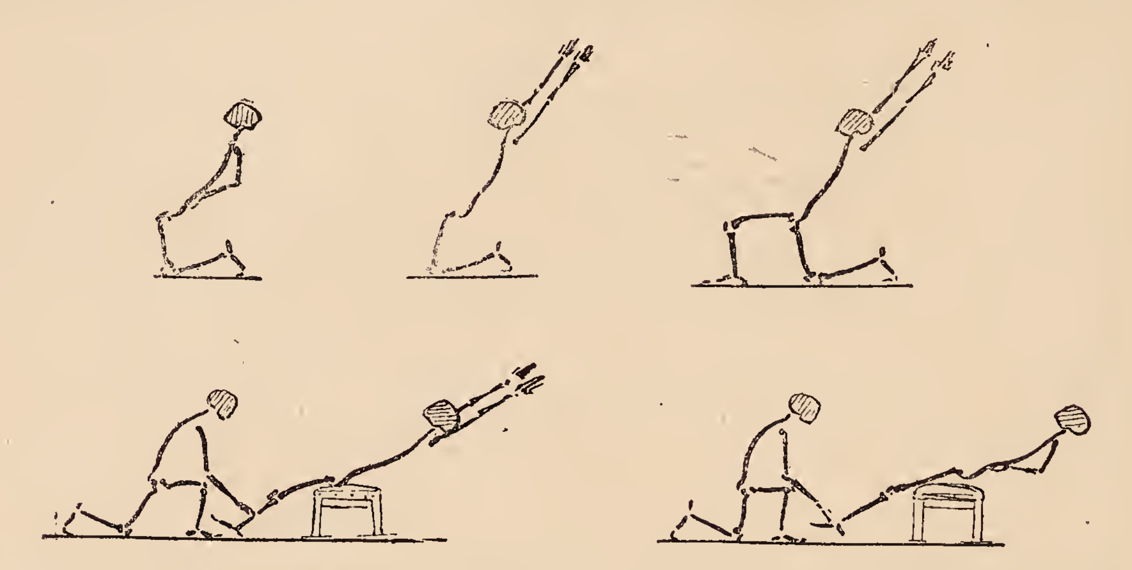


Fig. 239. — Exercices gradués pour les muscles de l'abdomen étant à genoux ou assis sur un banc.

par suite des contractions intenses des muscles du dos et des muscles de l'abdomen (fig. 244 et 247).

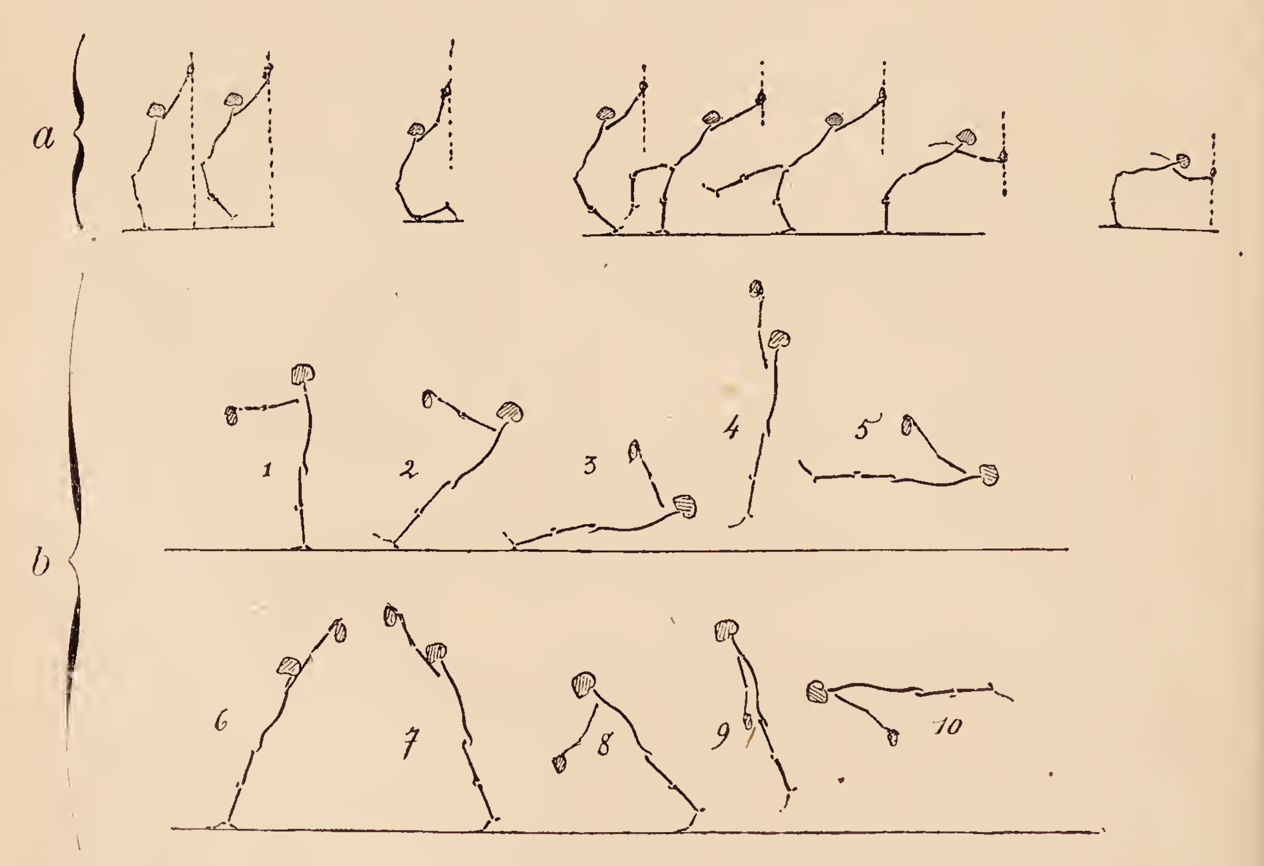


Fig. 240. — *a.* Exercices gradués pour les muscles de l'abdomen à l'espalier suédois (traction sur la barre); *b.* Exercices gradués de suspension et d'appui.

Exercices sur les bancs. — Pour obtenir ces effets utiles les appuis sur le sol suffisent au besoin et nous avons vu qu'un simple banc et l'aide d'un opposant permettent des attitudes

obliques et couchées sollicitant énergiquement les contractions des muscles fléchisseurs, extenseurs et fléchisseurs latéraux

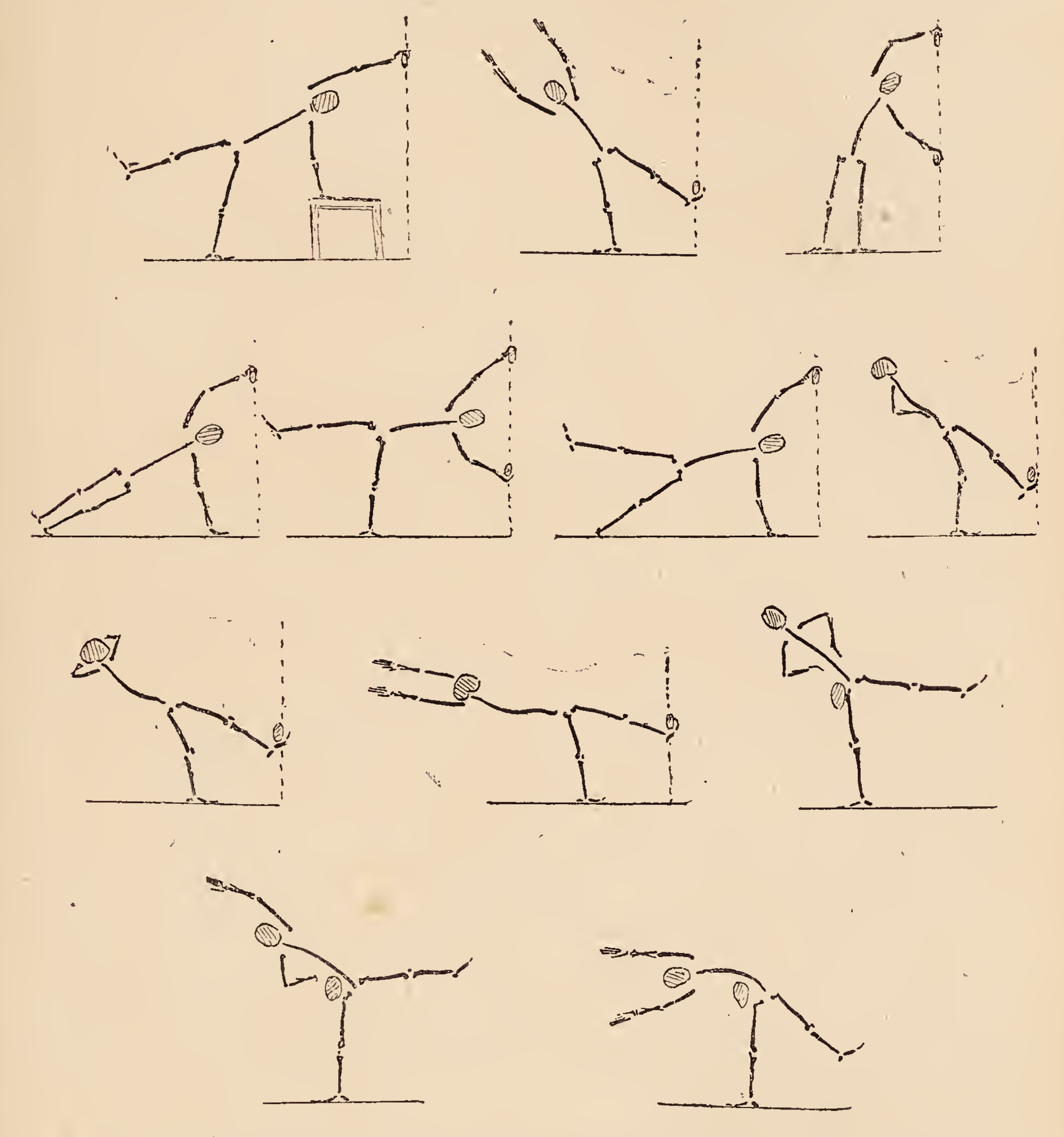


Fig. 241. – Divers exercices gradués usités en Suède et s'adressant particulièrement aux muscles latéraux du tronc.

du tronc associées aux muscles du dos fixateurs de l'épaule et à la dilatation du thorax (fig. 248).

Les exercices les plus énergiques ne sont pas forcément ceux qui en ont l'air ou qui se pratiquent aux appareils.

Un mouvement d'abduction des bras en arrière exécuté les mains libres et en marquant un temps d'arrêt à fin de course est plus énergique que le même mouvement exécuté avec élan et avec haltères.

La masse additionnelle ne constitue pas ici une gradation à

moins de changer l'attitude du corps et d'exécuter le mouvement lentement en position horizontale (fig. 249).

Tous les exercices précédents pourraient ainsi être exécutés

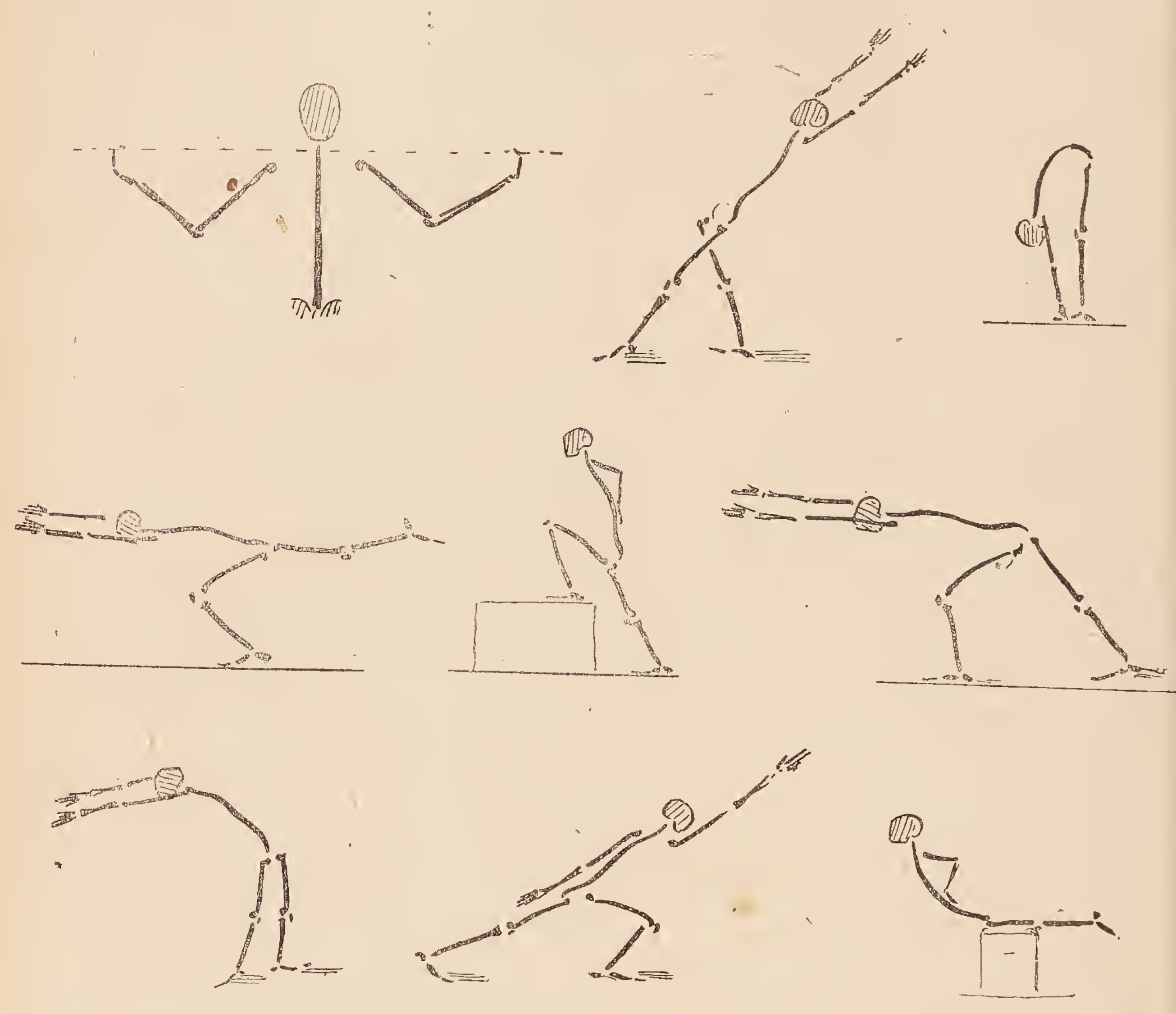


Fig. 242. — Exemples de mouvements gymnastiques demandant une grande énergie à cause de leur amplitude considérable (Tirés de la *Gymnastique* de LING).

avec haltères mais il faut bien faire attention à l'attitude. Suivant que le poids de l'haltère passe en avant ou en arrière du corps, il tend à produire l'adduction ou l'abduction du bras, la flexion ou l'extension du tronc (fig. 250).

EXERCICES DE BARRES. — L'adjonction d'une barre dans la main n'est pas non plus un élément de gradation, bien au contraire. On recommande journellement pour effacer les épaules et prendre une bonne attitude de passer une barre dans les coudes et derrière le corps. Les épaules sont ainsi portées en arrière, il est vrai, mais cet effet est tout à fait passif, il n'est pas dû à

l'effort des muscles ; la barre s'appuyant sur le dos est un point

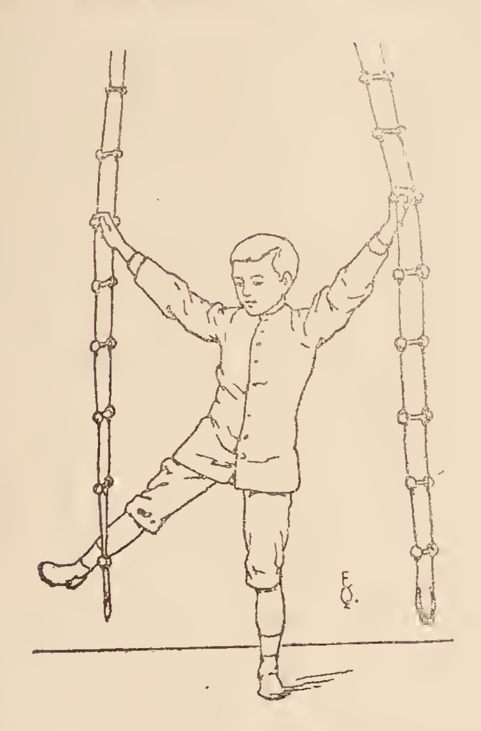


Fig. 243. — Écartement latéral des jambes avec appui sur les échelons.

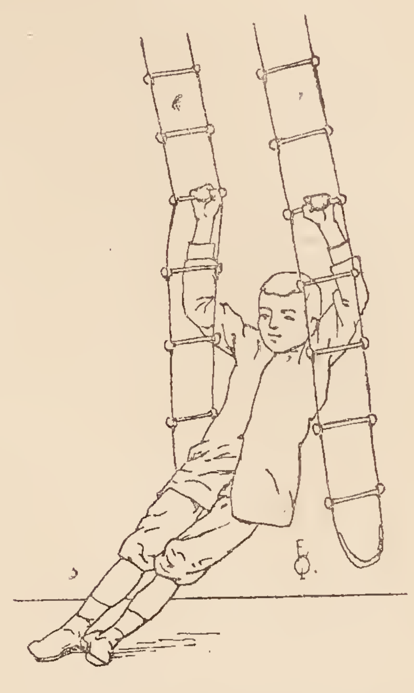


Fig. 244. — Suspension inclinée du corps, les mains aux échelons, les pieds sur le sol.

d'appui pour les coudes et c'est la solidité de la barre qui pro-



Fig: 245. — Suspension aux échelles le corps incliné latéralement.



Fig. 246. — Abduction des jambes (effort des adducteurs).

duit l'abduction du bras ; l'action musculaire porte au contraire

sur les pectoraux pour serrer la barre avec les coudes. C'est une action analogue à celle des bretelles orthopédiques, remplaçant l'action musculaire (fig. 251 et 252) et laissant par suite se relâcher les muscles qu'il faudrait contracter. L'usage d'une barre est ainsi inutile ou nuisible, il ne constitue pas un degré plus intense dans l'effet produit.



Fig. 247.— Flexion des extrémités inférieures en suspension allongée.

Il en est de même si l'on tient la barre au-dessus de la tête les bras écartés et si on la fait descendre ainsi le long du dos en pliant les bras. Si la barre ne touche ni la tête ni les épaules c'est grâce à un effort musculaire intense rejetant les bras dans le plan des épaules, dans ce cas la barre devient inutile ; on peut l'enlever, les bras resteront fixés dans leur position, l'épaule restera effacée. Si la barre s'appuie contre la

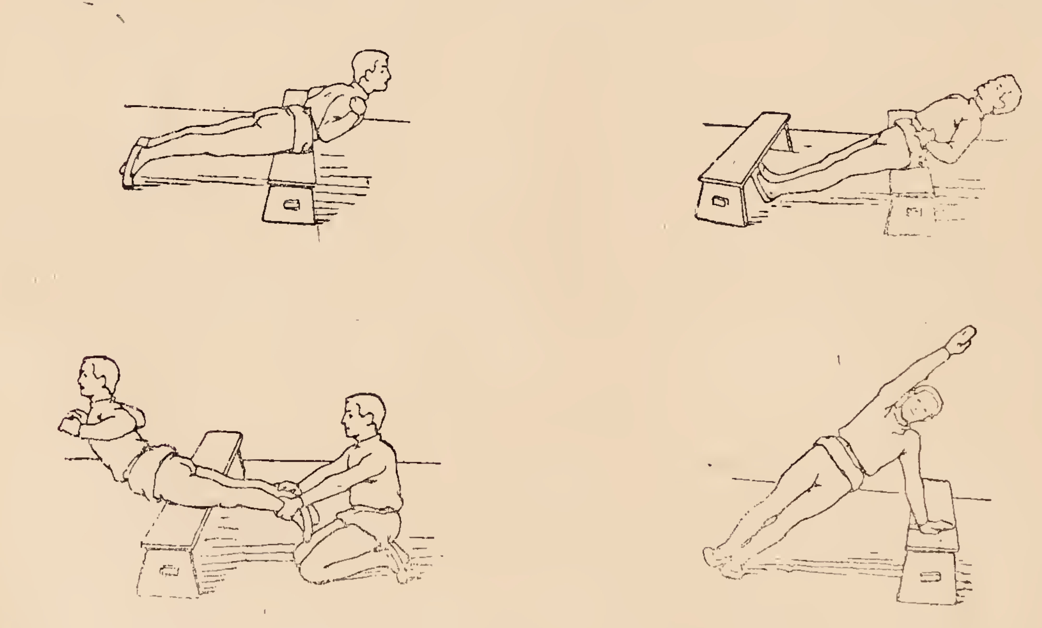


Fig. 248. — Exercices sur les bancs sollicitant la contraction énergique des muscles du dos et de l'abdomen.

tête et les épaules, il y a alors pression des mains contre la barre, action des muscles antérieurs de la poitrine et relâchement des muscles du dos ; la barre devient nuisible (fig. 253).

La barre étant au-dessus de la tête, si on la tire avec les deux

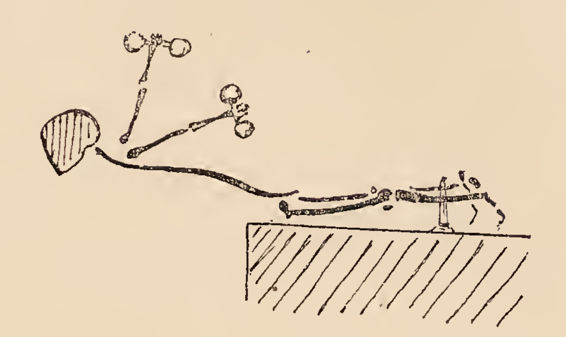


Fig. 249. — Sujet couché sur le ventre et écartant latéralement les bras. Les haltères placés dans la main exigent dans cette position un effort considérable des muscles du dos.

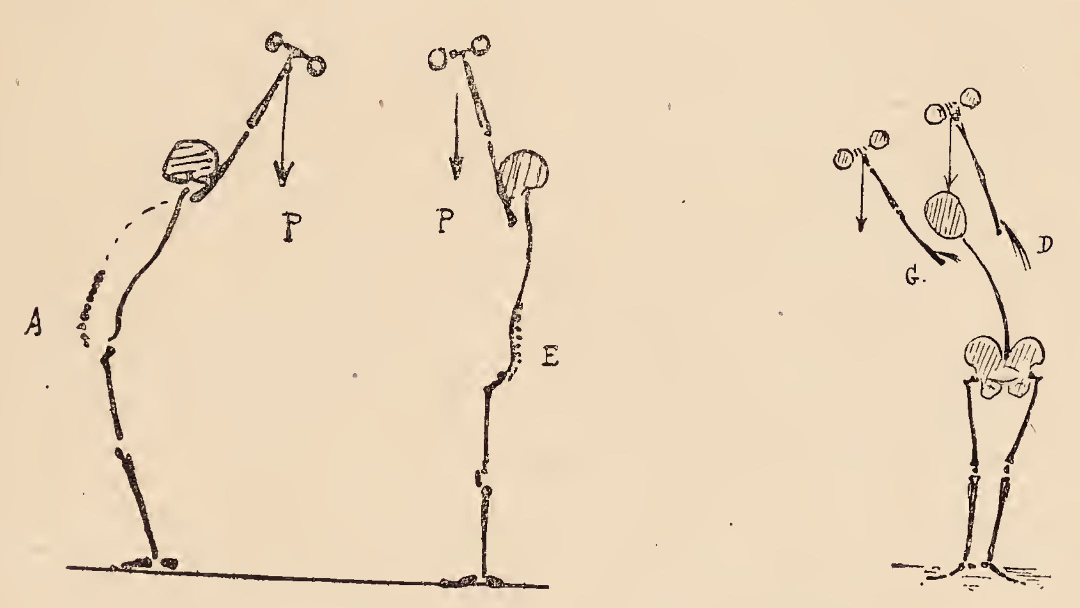


Fig. 250. — Élévation des bras avec haltères.

On voit le poids P de l'haltère provoquer la contraction des muscles abdominaux A ou extenseurs du rachis E suivant que la main est portée en arrière ou en avant du corps. Les pectoraux s'opposent dans le premier cas à l'abduction exagérée du bras.

Dans la figure de droite l'inclinaison latérale fait contracter d'un côté les deltoïdes G, de l'autre les grands dorsaux D.



Fig. 251. — Bretelles dites orthopédiques.

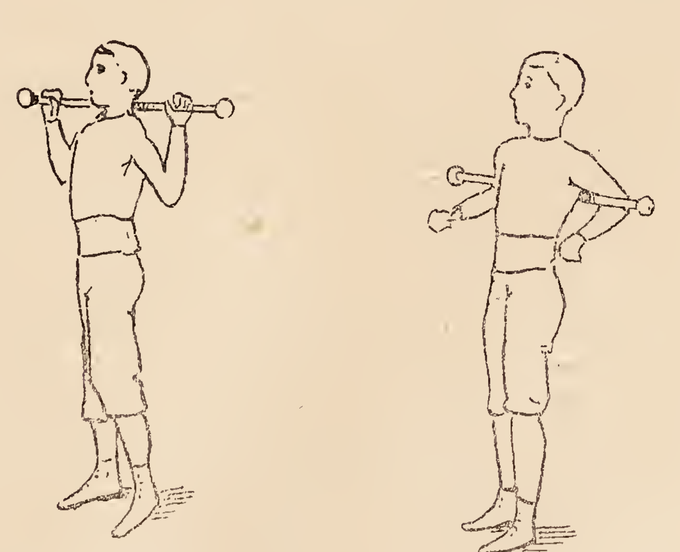


Fig. 252. — La barre appuyée derrière la tête et derrière le dos remplace l'action des muscles qui effacent les épaules et ne produit qu'un effet illusoire.

mains, comme pour l'allonger (fig. 254) il se produit un mouve-

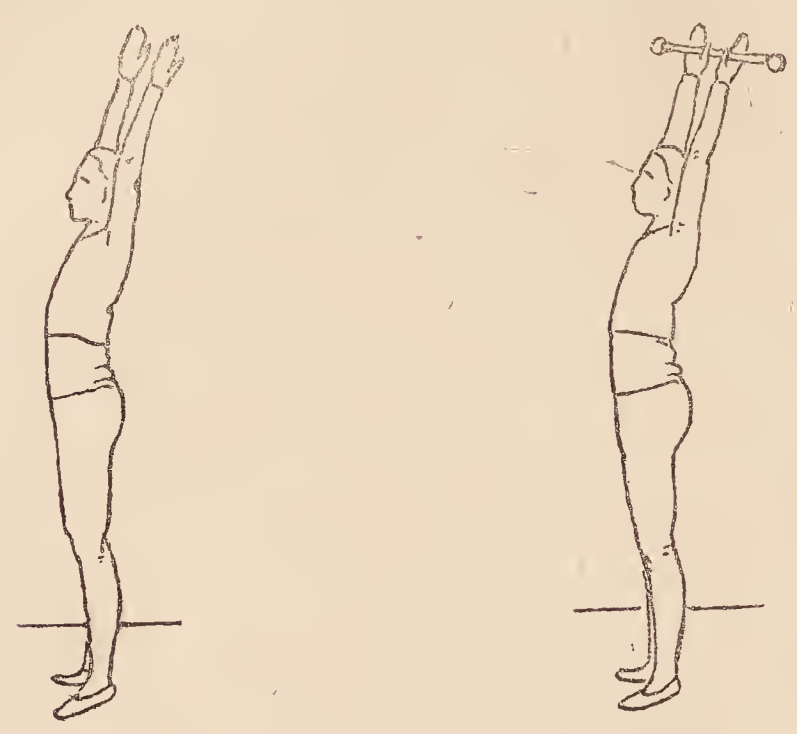


Fig. 253. — La barre élevée au-dessus de la tête n'ajoute rien à l'effort des fixateurs dans l'élévation des bras.

ment d'abduction des bras en arrière attribué à tort aux



Fig. 254. — Expérience mettant en évidence les puissances musculaires agissant dans l'élévation des bras avec un lien qui réunit les deux mains. Le lien étant rompu, on voit les bras s'abaisser de côté sous l'action des fléchisseurs contractés.

muscles élévateurs et fixateurs de l'omoplate. Pour analyser ce qui se passe, nous nous servirons d'un procédé très simple

et très démonstratif. Au lieu d'une barre, nous prendrons une corde sur laquelle nous opérerons la traction, puis la corde bien tendue, nous la coupons instantanément (fig. 254) et nous voyons alors les bras tomber de côté avec force. L'effort musculaire est ainsi mis en évidence, c'était une action des grands dorsaux et point du tout une action des fixateurs de l'omoplate.



Fig. 255. — Exercice avec la barre en bois.

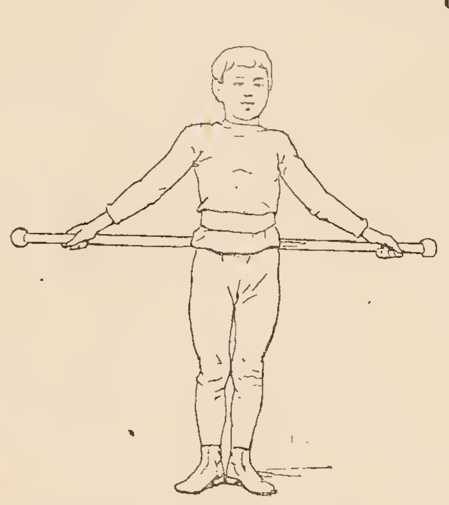


Fig. 256. — Barre horizontale tenue derrière le dos.



Fig. 257. — Passer la barre derrière le dos.

Conclusion : la barre remplace en partie l'action des muscles dorsaux et fait obtenir passivement l'attitude qu'on devrait obtenir volontairement.

La barre devient inutile ou nuisible si on l'appuie sur le corps ; et le redressement du tronc et la fixation de l'épaule en arrière sont obtenus avec plus d'intensité avec les mouvements exécutés librement dans le plan des épaules qu'avec une barre. Cette vérité peut s'étendre à bien des appareils de gymnastique[1]. Ainsi la gradation croissante dans l'effet correctif de l'attitude droite pourrait être faite comme il suit :

Bretelle orthopédique.	0	(fig. 251)
Haltère.	0	(fig. 183)
Barre au-dessus de la tête.	1	(fig. 253)
Elévation des bras dans le plan des épaules.	2	(fig. 219)
— le corps incliné obliquement. .	3	(fig. 230)
Couché horizontalement sur le ventre . .	4	(fig. 248)
Couché avec haltère.	5	(fig. 249)
Debout appuyé au mur	6	(fig. 233)

1. L'échelle orthopédique par exemple.

Ces mouvements correspondent aux figures indiquées.

On fait avec les barres d'autres exercices. On exécute des mouvements de circumduction des bras d'avant en arrière de

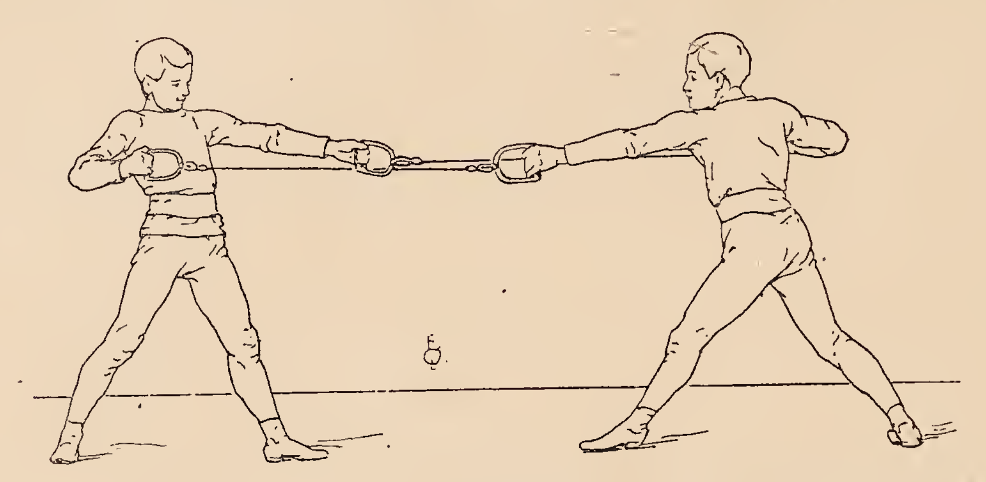


Fig. 258. — Lutte au moyen d'une traction horizontale des bras.

façon à amener ainsi la barre jusqu'au contact du corps (fig. 255, 256 et 257).

Ces mouvements fatiguent l'articulation de l'épaule et la

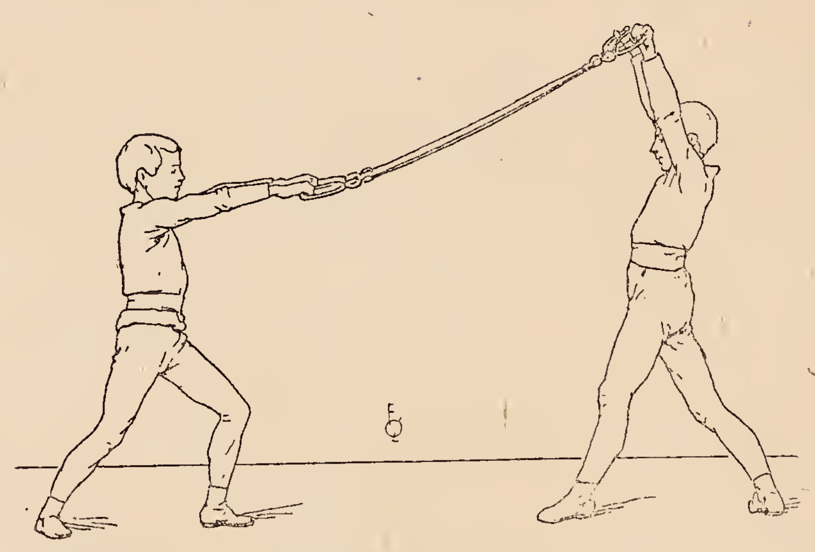


Fig. 259. — Opposition à l'élévation des bras par une traction faite au moyen de poignées.

partie antérieure et postérieure des deltoïdes constamment mis en jeu, s'ils sont répétés trop souvent et exécutés avec des barres de fer trop lourdes. Ils ont encore l'inconvénient de provoquer l'ensellure.

Les barres à sphères lourdes ont sur les haltères lourds l'avantage d'être un poids symétrique; elles établissent une liaison entre les deux mains et contribuent ainsi à la stabilité. Dans les mouvements de flexion de l'avant-bras, la barre vient

au contact du thorax et s'oppose un peu à l'effacement des épaules.

Avec de longues barres on peut exécuter des mouvements à deux et des oppositions et des luttes.

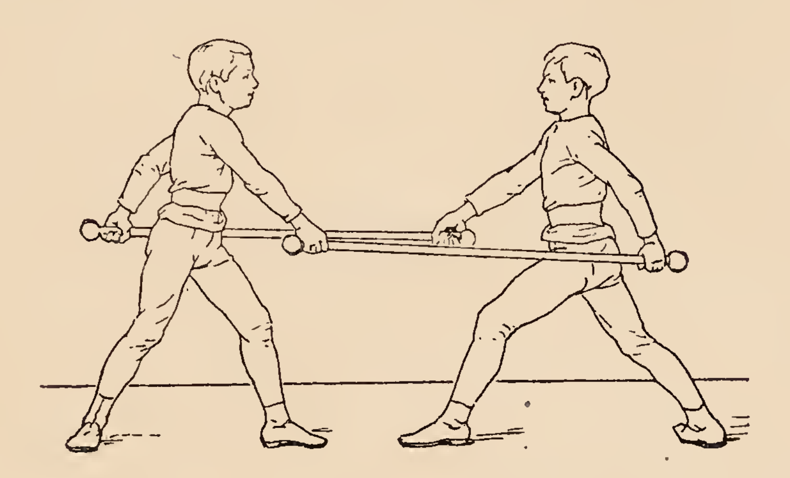


Fig. 260. — Opposition des bras avec mouvement de balancement au moyen de bâtons (contraction des muscles pectoraux et des muscles de l'abdomen).

Oppositions et luttes. — Les oppositions deux à deux ou luttes raisonnées donnent lieu à des exercices variés qui per-

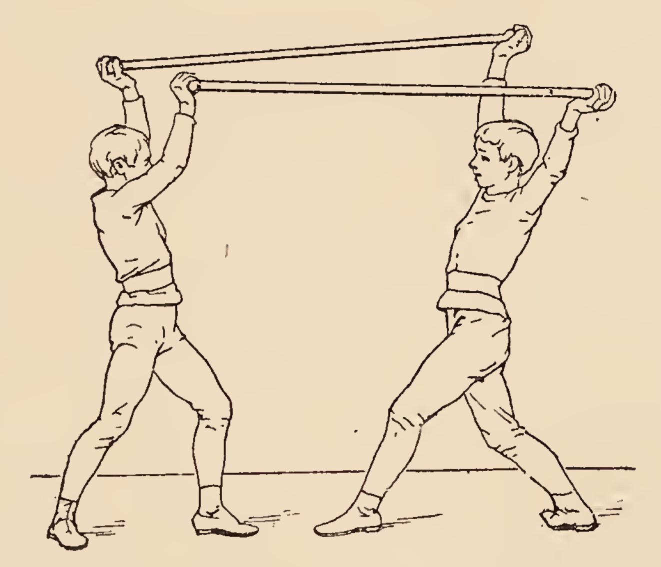


Fig. 261. — Oppositions avec les barres ; — Contraction énergique des muscles de l'abdomen.

mettent de diriger la résistance dans toutes les directions et de la graduer avec toutes les nuances possibles d'intensité.

L'opposant doit pour cela se rendre compte de l'effet produit sur son camarade; il doit se rappeler que l'effort musculaire suscité est, à chaque instant contraire aux mouvements qu'il produit.

On peut exécuter ces oppositions avec la main, mais cela est malpropre et gêne l'étendue des mouvements. Avec des cordes terminées par des poignées on transmettra des tractions, avec des bâtons rigides, des tractions et des poussées.

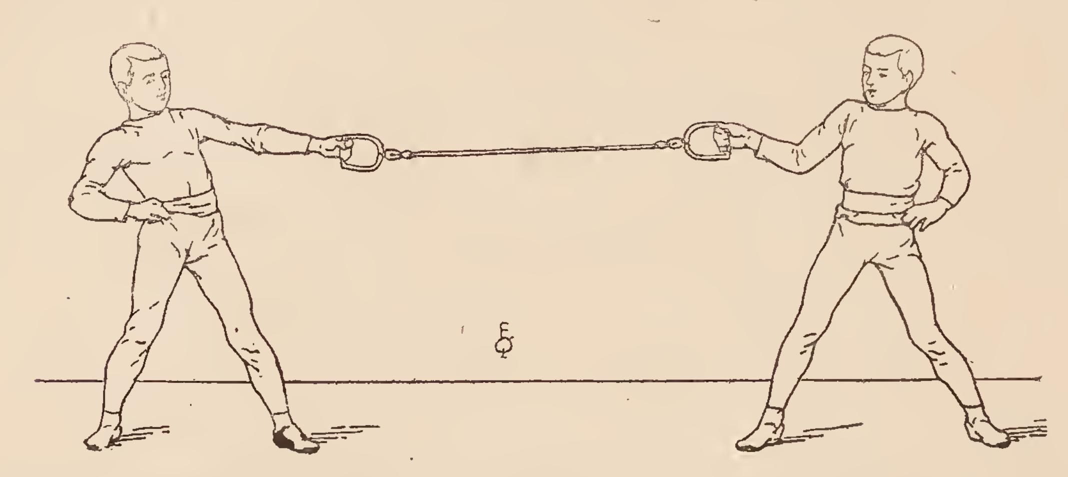


Fig. 262. — Opposition au moyen de cordes à poignées. Effort des muscles latéraux du tronc.

Les mouvements d'opposition bien raisonnés et bien exécutés renferment tous les éléments de la meilleure gymnastique de développement, mais ils demandent de la part des exécutants des connaissances et une volonté qui sont loin d'être générales.

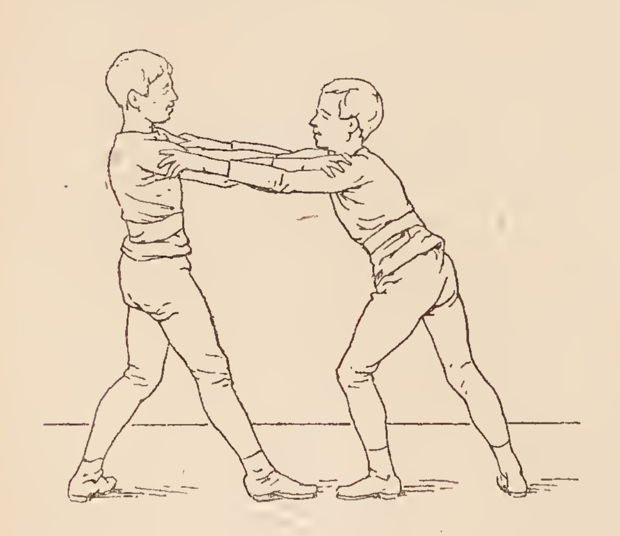


Fig. 263. — Lutte des épaules.

La gymnastique médicale suédoise les emploie constamment et en tire le plus grand avantage. Une grande partie de ces mouvements sont applicables à la gymnastique de chambre et à la gymnastique scolaire ; toutefois pour cette dernière il faut être prudent et en faire un choix sérieux. Il faut chercher surtout à produire les contractions des muscles du dos et de l'abdomen par des tractions horizontales. Il faut veiller à ce que les oppositions ne dégénèrent point en luttes brutales. La résistance opposée doit être continue, le mouvement lent, l'amplitude complète et jamais on ne doit donner d'à-coups.

Les cordes des poignées seront toujours tendues et les attitudes correctes. Chaque adversaire devra remplir tour à tour le

rôle actif et celui d'opposant ; en voici quelques exemples choisis pour amener la contraction dans les fixateurs de l'omoplate et les extenseurs de la colonne vertébrale (fig. 258 à 261).

L'exercice (fig. 262) met en jeu les fléchisseurs latéraux du

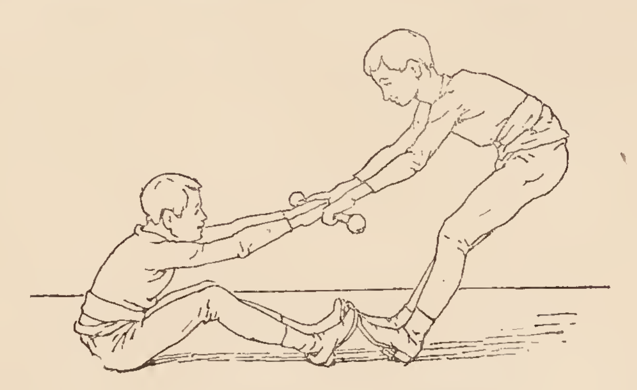


Fig. 264. — Lutte au moyen d'un bâton (effort d'extension du tronc).

tronc ; on peut faire des combinaisons de ces exercices et y ajouter la difficulté de l'équilibre.

Si l'un des opposants tournait le dos à son camarade, tout l'effet serait changé pour lui ; ce seraient alors les muscles flé-

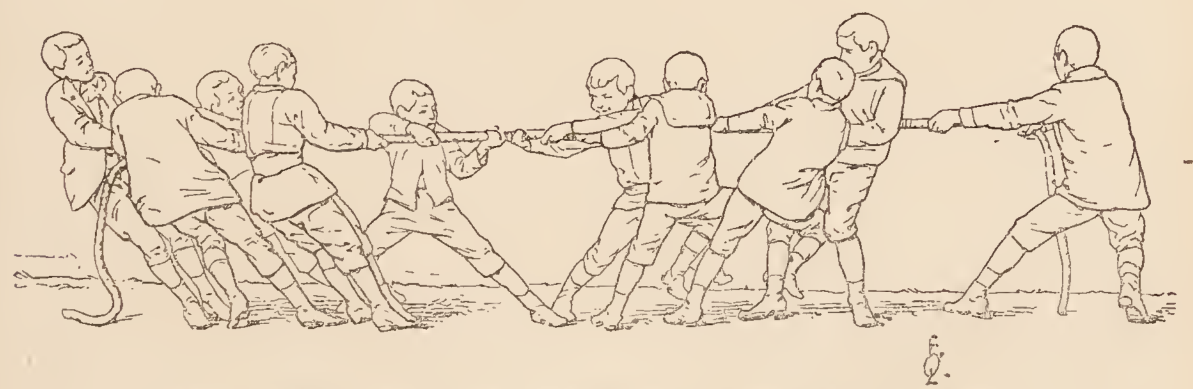


Fig. 265. — Lutte d'enfants à la corde de traction.

chisseurs du tronc et les muscles pectoraux qui seraient sollicités. Nous conseillons de pratiquer fréquemment ces oppositions et surtout de donner la préférence aux exercices des muscles du dos ; on peut être assuré des résultats les plus sérieux au point de vue de l'attitude et du développement. La localisation des contractions se fait à volonté et d'autant mieux qu'on obtient le relâchement des antagonistes des muscles contractés, si, bien entendu, le mouvement est exécuté sans brusquerie. Ces mouvements complètent parfaitement les suspensions, appuis et l'effet des poids additionnels suscitant toujours des actions verticales.

Il y a d'autres luttes moins raisonnées où l'on cherche à faire perdre pied à son adversaire en le poussant ou le tirant. Pour cela les mains ou les poignets sont engagés. On se sert aussi de bâtons placés sous les aisselles (fig. 263 et 264). Ces exercices constituent de véritables jeux où l'émulation peut faire craindre un excès d'effort. Leur effet n'est plus aussi bien défini



Fig. 266. — Lutte, prise de ceinture.

que dans les luttes raisonnées. La lutte à la corde (fig. 265) partage les élèves en deux camps ; ici la traction se fait par à-coups. Chaque élève n'est pas tenu de soutenir son effort, la résultante seule de toutes les actions individuelles intermittentes décide de la victoire et il faut bien peu de différence pour cela dès que l'un des camps a été ébranlé.

Lutte corps a corps. — La lutte corps à corps est un exercice un peu brutal, du moins si l'on prenait pour exemple la lutte foraine. Philippe Daryl lui reproche trois vices : la bassesse du sentiment qui anime trop souvent les professionnels et leur fait rechercher la victoire à tout prix même en blessant leurs adversaires, soit en les jetant à terre au lieu de les accompagner, soit en leur cassant les doigts ou en leur tordant l'épaule. Le second est l'abus de la lutte à terre et le troisième l'obésité des lutteurs tenant uniquement à leur gloutonnerie et à l'abus des boissons alcooliques. Tous ces professionnels n'ont aucune idée

des pratiques de l'entraînement, ce qui fait croire à l'indispensable nécessité d'être obèse pour être lutteur.

La lutte en réalité est un exercice utile, mais seulement pour les adultes (fig. 266).

Elle développe les muscles en grosseur et vous entraîne aux contractions prolongées grâce à un effort de volonté énergique.

On pourrait lui reprocher de toujours demander l'étreinte, on y voit cependant quelques attitudes d'extension comme le

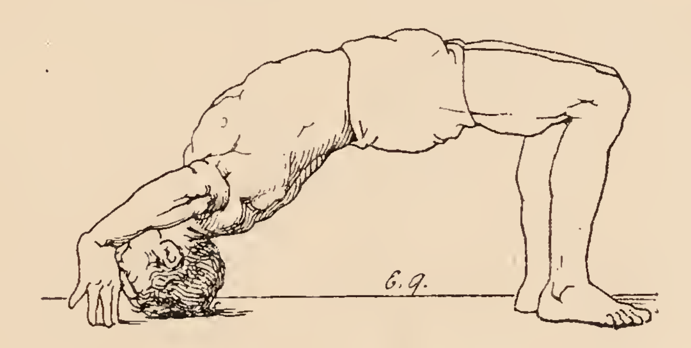


Fig. 267. — Attitude du pont dans la lutte. Effort localisé dans les extenseurs du tronc et les dorsaux.

pont, attitude fondamentale (fig. 267) ayant pour but d'éviter de toucher terre avec les épaules.

La lutte provoque l'effort avec tous ses graves inconvénients : congestion de la face, troubles de la circulation et de la respiration, dangers des hernies. En luttant contre un adversaire sans amour-propre exagéré, on se trouve évidemment dans des conditions plus complexes et moins déterminées que celles d'un exercice gymnastique classique. Il y a là de l'imprévu, un jeu attrayant pour la jeunesse et peut-être même une école de sociabilité. Dans ces conditions il serait bon de revenir à la lutte, mais jamais pour l'enfant.

Machines a contrepoids. — On a cherché à remplacer les oppositions et luttes par des appareils mécaniques à ressorts ou à contrepoids et si l'on a réussi à faire des machines suscitant en tous les sens des efforts musculaires, il est inutile de faire remarquer combien ces machines sont imparfaites, jamais leur action n'est proportionnée aux efforts naturels; si ces appareils développent les muscles, ce dont on ne saurait douter, ils laissent le système nerveux endormi. Nous avons déjà fait remarquer la différence fondamentale séparant deux hommes

également musclés mais développés par les machines ou par les sports.

Le premier possède des muscles, mais il est incapable d'utiliser sa force, le second est au contraire adroit, audacieux et plein d'initiative. La supériorité du second est évidente.

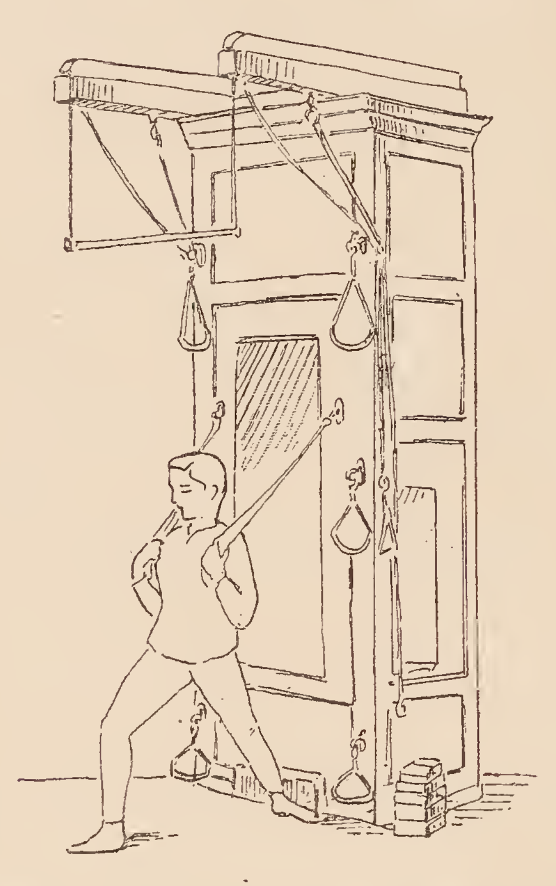


Fig. 268. — Appareils à contrepoids de Burlow.

Les machines à contrepoids sont des appareils de gymnastique de chambre ou des appareils pour les malades, on peut cependant en tirer un bon parti si l'on sait s'en servir.

Triat a été un des premiers à les populariser et à les adapter à toutes sortes de mouvements. Nous nous rappelons en avoir vu une grande variété dans son gymnase de l'avenue Montaigne depuis longtemps disparu.

Ensuite M. Burlow a construit pour M. Paz des armoires spéciales permettant de diriger et de graduer la résistance à vaincre; un lit placé devant l'appareil avait l'avantage de donner au corps différentes orientations et de varier ainsi la répartition des contractions musculaires (fig. 268).

Ce que nous avons dit des diverses combinaisons possibles du corps avec une résistance à vaincre, tableau de la page 171, s'applique aux appareils à contrepoids, nous n'y reviendrons

plus. Parmi toutes ces combinaisons, les plus utiles sont toujours celles qui mettent en jeu les muscles du dos et les muscles de l'abdomen et les raccourciront. Citons par exemple l'abduction

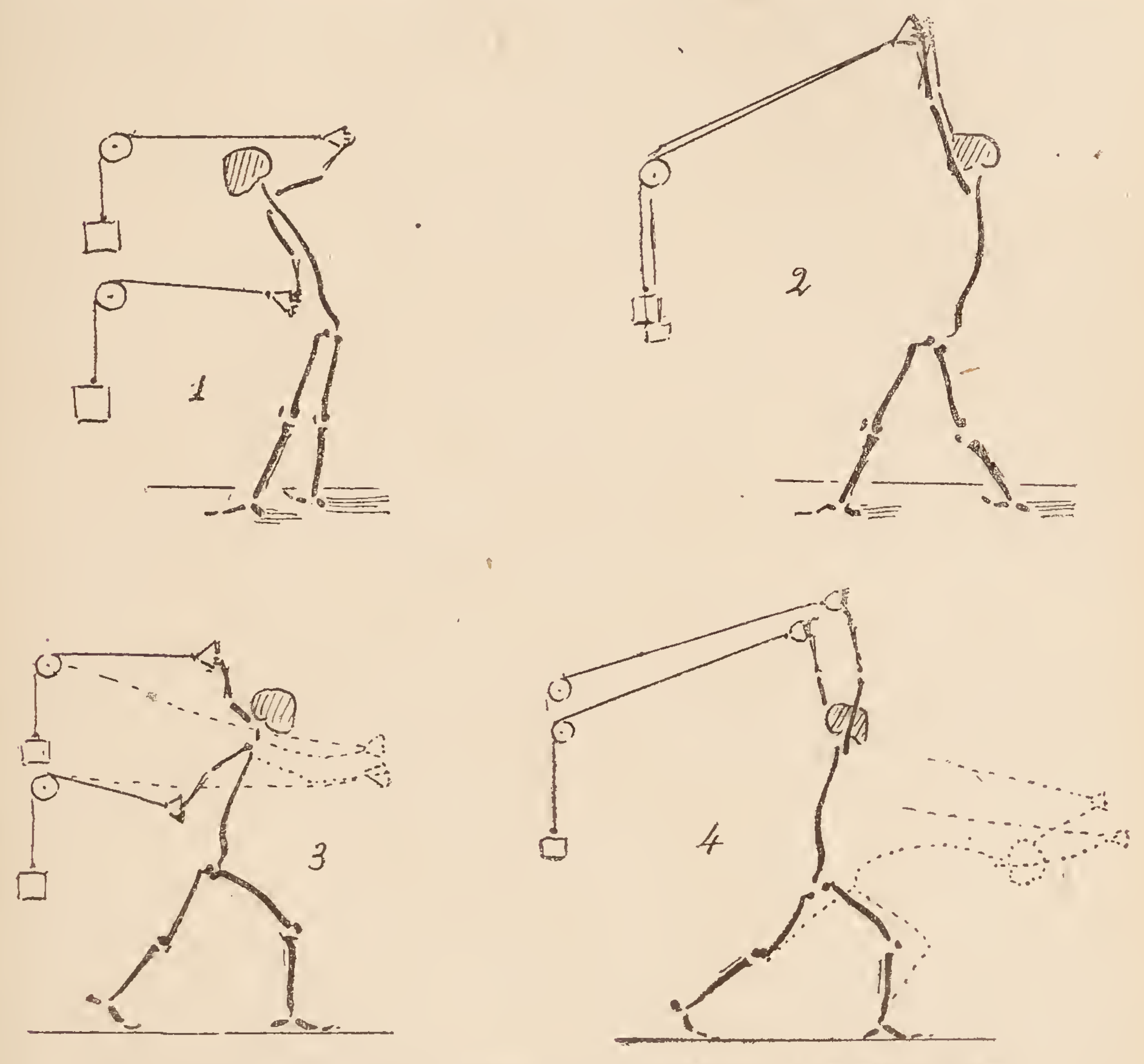


Fig. 269.— Exercices usités aux appareils à contrepoids.

1, Action des muscles du dos et des extenseurs du rachis; — 2, action encore plus énergique des mêmes groupes musculaires; — 3, action des muscles pectoraux et abdominaux; — 4, action encore plus énergique des mêmes muscles abaisseurs du bras et fléchisseurs du tronc.

horizontale des bras, le tronc fléchi, les jambes tendues face à l'appareil. L'exercice est difficile, pour être bien exécuté il demande l'extension de la tête et du dos, extension contrariée par la flexion du tronc. Il devient extrêmement énergique lorsqu on l'exécute les bras étendus et élevés avec une flexion marquée du tronc, les jambes tendues (fig. 269 et 270). Nous avons donné les règles générales d'analyse de tous ces mouvements, nous faisons cependant encore remarquer combien il importe de tenir compte de la direction du cordon pour ne pas commettre d'erreurs. Par exemple, j'engage le pied dans un étrier tiré vers

le haut par le contrepoids, et j'exécute un mouvement d'extension simultané de la cuisse, de la jambe et du pied. Il est facile de voir l'effet différent du contrepoids suivant la direction du cordon par rapport à la jambe et suivant l'angle de la jambe avec la cuisse. Dans la position 1 (fig. 271) le cordon produit

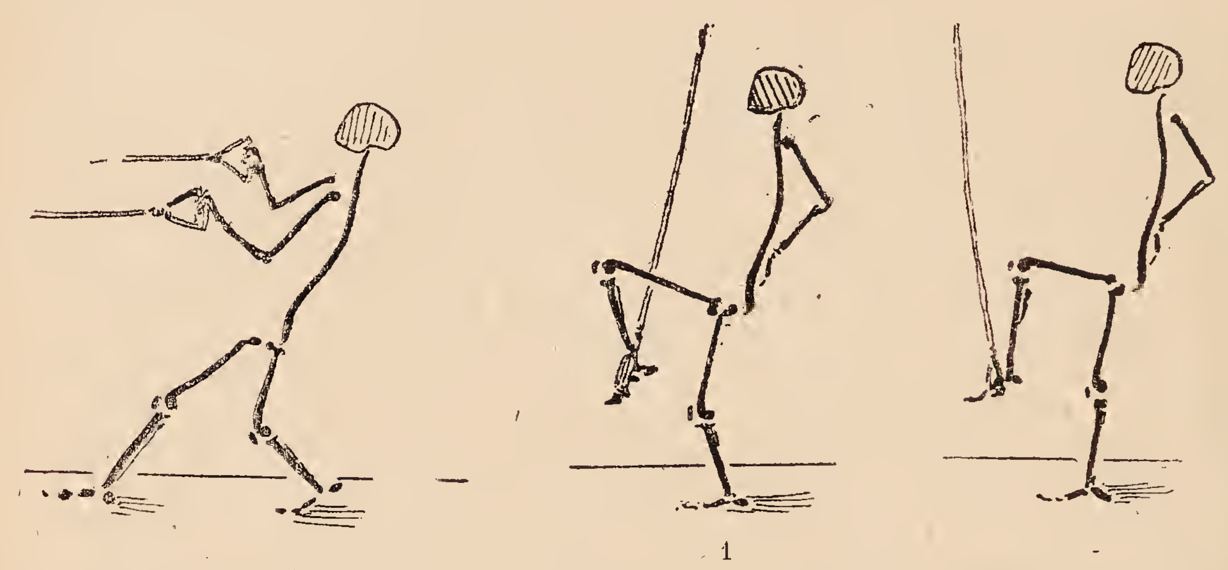


Fig. 270. — Traction horizontale, action des muscles extenseurs et fixateurs de l'épaule en arrière.

Fig. 271. — On voit l'action de l'appareil à contrepoids susciter la contraction des muscles fléchisseurs ou des muscles extenseurs de la jambe suivant la direction du cordon.

la flexion il produit, au contraire, l'extension dans la position 2. Cette disposition fait agir très peu les extenseurs de la jambe mais elle sollicite constamment les extenseurs de la cuisse.

Les extenseurs de la jambe sont constamment en action pour marcher, courir, sauter; l'effort d'extension prédomine aux jambes, l'effort de flexion aux bras. Les appareils à contrepoids peuvent remédier à cette désharmonie en changeant complètement la direction des résistances à vaincre; il n'est pas utile de recourir aux machines exagérant les contractions habituelles.

Le défaut général de ces appareils entre des mains inexpérimentées est justement de faire double emploi avec les exercices naturels.

Imperfections des appareils a contrepoids. — Ils sont imparfaits pour trois raisons : 1° ils présentent une résistance constante à vaincre pour une action musculaire variable; 2° La direction des cordons pendant le mouvement change à chaque

instant avec la direction des segments osseux et s'exerce ainsi sous des angles tout à fait défavorables ; 3° ils ne sont pas exempts des effets d'inertie constatés à propos du maniement des haltères.

Exemples : Dos à l'appareil, adduction des bras tendus ; au

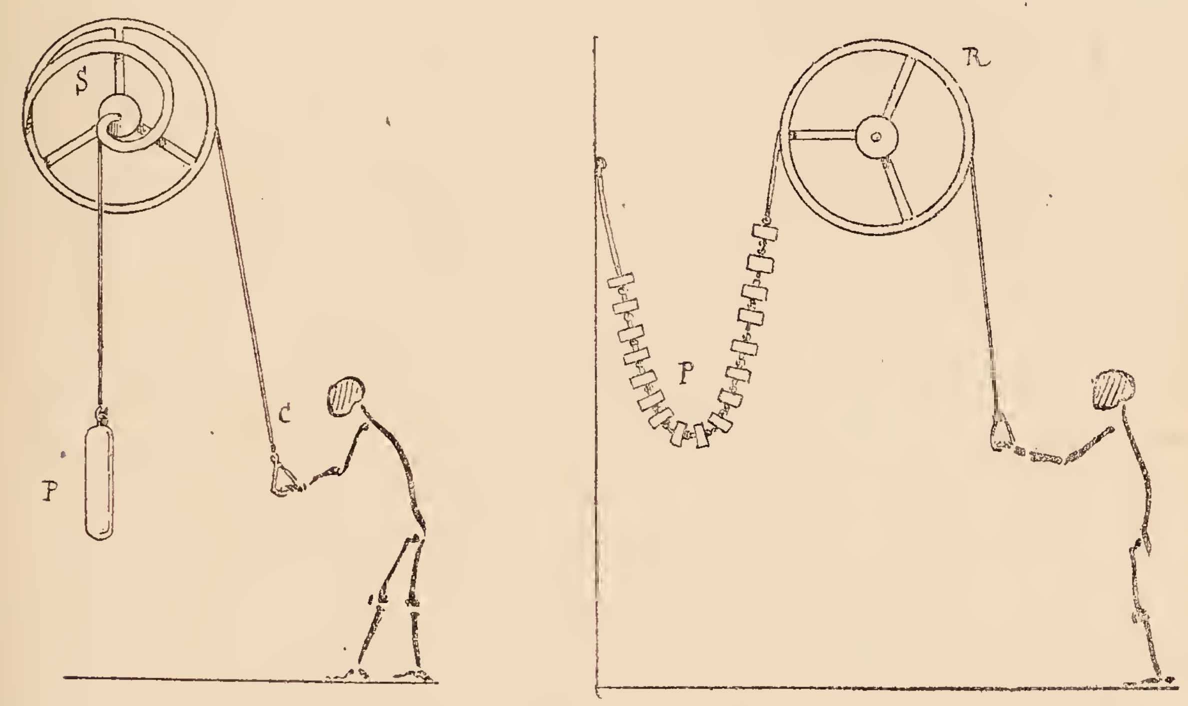


Fig. 272. — Machines gymnastiques à résistances variables permettant d'opposer aux mouvements un effort continu et proportionné à l'action musculaire, soit au moyen d'une spirale, soit au moyen d'une chaîne de poids.

début du mouvement les poids agiront sur toute la longueur du bras c'est la position la plus défavorable pour les muscles, il faut exercer un effort extrêmement pénible pour démarrer, puis l'obliquité du bras augmentant sans cesse, l'effort musculaire diminue toujours jusqu'à la position horizontale en avant où l'effort passe aux extenseurs de l'avant-bras et aux fléchisseurs du tronc (fig. 269). Dos à l'appareil, les bras élevés au-dessus de la tête, flexion du tronc avec abaissement des bras. Même difficulté de démarrage, les poids agissent perpendiculairement aux bras, l'abaissement est pénible, ce sont les fléchisseurs du tronc qui en supportent une bonne part et cette part ne fait qu'augmenter, mais le poids du corps y aidant, la force musculaire devient de moins en moins nécessaire. Dans la position finale (fig. 269.4) le poids du corps penché en avant l'emporte largement sur les contrepoids et l'action musculaire est à peu près nulle.

L'inertie des contrepoids se fait sentir au début du mouvement si l'on tire vivement sur les cordons, on constate d'abord une forte résistance, puis les poids acquièrent une vitesse qui tend à se conserver et devient, si les bras se ralentissent, supérieure à la vitesse des mains. Les cordons cessent alors d'être tendus et l'action du contrepoids est nulle.

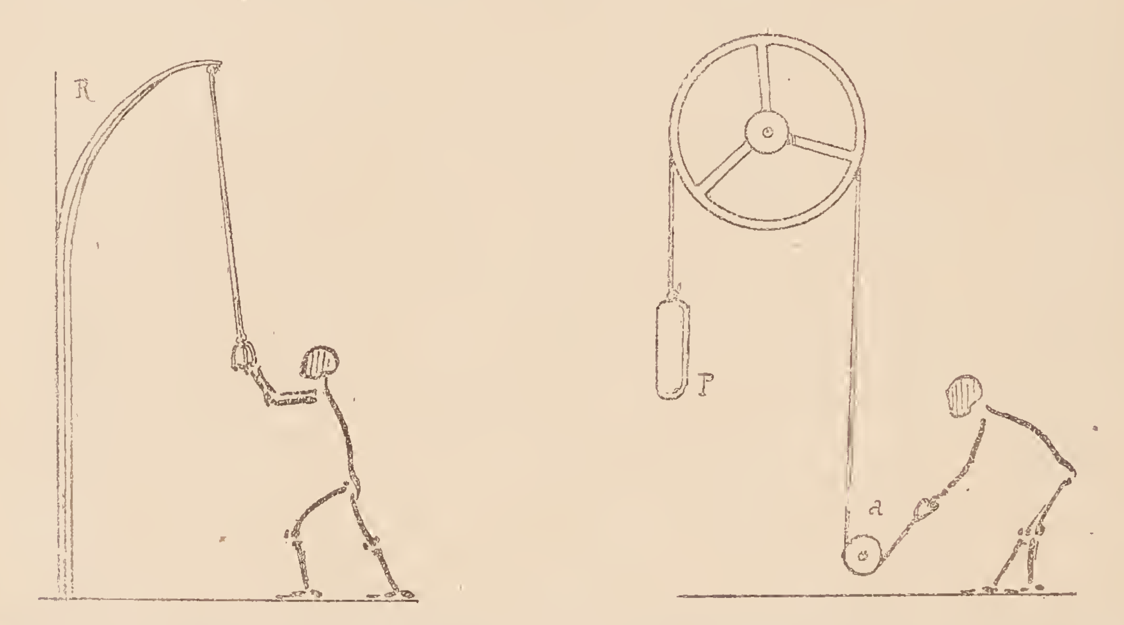


Fig. 273. — Appareils à ressort et à contrepoids permettant de diriger la résistance à vaincre dans toutes les directions.

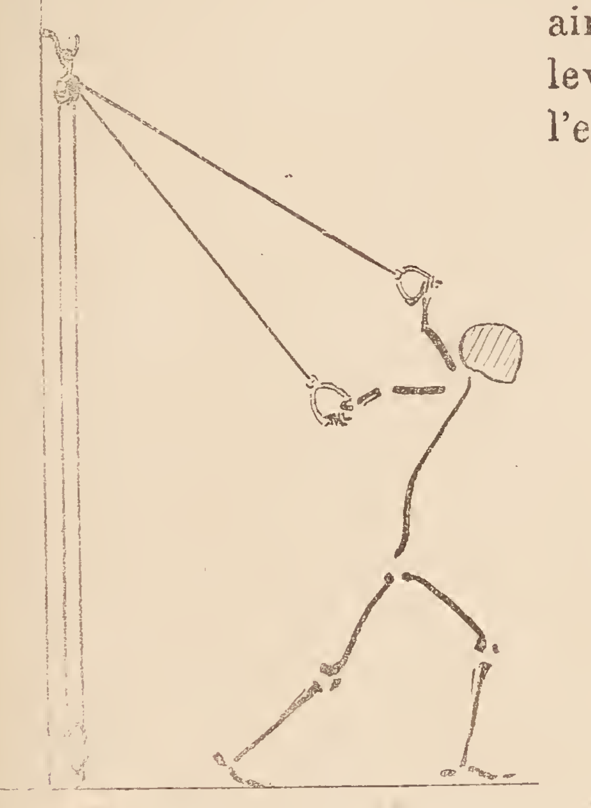
Le poids a son mouvement propre, il n'accompagne jamais exactement la main, tantôt il avance, tantôt il retarde sur celle-ci. L'effet indiqué est encore plus sensible si les cordons se réfléchissent sur des poulies de petit diamètre créant des résistances nouvelles, si les poids sont guidés dans des glissières à frottements, ce qui rend l'instrument extrêmement paresseux.

Manière d'y remédier. — Il y aurait bien des moyens de remédier à la variation de l'effort musculaire suscité par les appareils à contrepoids en donnant au contrepoids une variation d'effet constamment en rapport avec la variation de l'effort normal.

Nous avons proposé [1] d'employer des poulies légères de grand diamètre, environ la moitié du rayon décrit par la main ; pour remédier à la différence d'effort qui peut varier de 5 à 40 kilo-

1. Communication faite à la deuxième Assemblée générale du Cercle de Gymnastique rationnelle en 1880.

grammes suivant la position du corps, le cordon du contre-poids doit être indépendant de celui de la poignée. Celui-ci s'enroule sur un arc de circonférence celui-là sur une spirale. Les diamètres de cette spirale croissent proportionnellement à l'effort; le contrepoids agit ainsi aux extrémités de bras de leviers d'autant plus grands que l'effort est plus considérable.



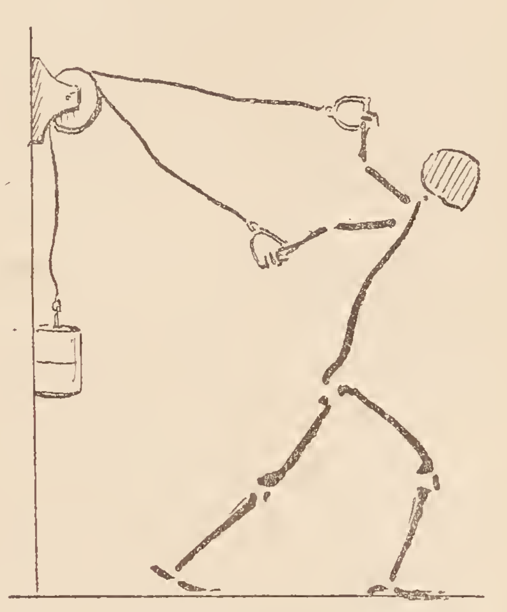


Fig. 274. — **Comparaison** des exercices aux appareils **en caoutchouc** ou aux appareils à contrepoids.

Le caoutchouc restant toujours tendu exerce une action continue sur les muscles. Le contrepoids au contraire ne suivant pas exactement le mouvement de la main, les cordons sont tantôt fortement tendus, tantôt tout à fait relâchés.

Cet effort serait préalablement déterminé au dynamomètre de traction (fig. 272).

Le grand diamètre de la poulie a pour but de n'exiger qu'une fraction de tour, d'éviter sa vitesse trop grande, de diminuer les frottements et de produire un jeu doux et régulier.

La variation dans l'effet du contrepoids peut être produite également au moyen d'une chaîne de poids fixée à un mur, comme les anciens ponts-levis (fig. 272). Cette chaîne pendant librement entre la poulie et son point d'attache exerce un effort d'autant plus intense qu'il y a plus de poids soulevés.

Appareils a ressort. — Des appareils plus simples mais moins parfaits réalisent les mêmes avantages. Un ressort formé par une lame de bois permet une grande amplitude du mouvement

et un effort gradué surtout quand on en réunit plusieurs, comme des ressorts de voiture (fig. 273).

Les appareils à ressort d'acier ou de caoutchouc sont beaucoup moins encombrants et rendent de réels services. Les derniers surtout n'ont pas l'inconvénient d'être pesants ou d'être lancés, pendant le mouvement, ils restent toujours tendus même lorsqu'ils sont étirés avec vitesse. Ils représentent donc à chaque instant une force sensiblement constante agissant sur la main. Les muscles sont toujours sollicités sous cette action et leurs antagonistes relâchés. De là une grande facilité pour localiser les contractions musculaires et obtenir un développement considérable des muscles mis en jeu. Ce ne sont cependant que des exercices de gymnastique de chambre ne pouvant constituer une méthode d'éducation (fig. 274).

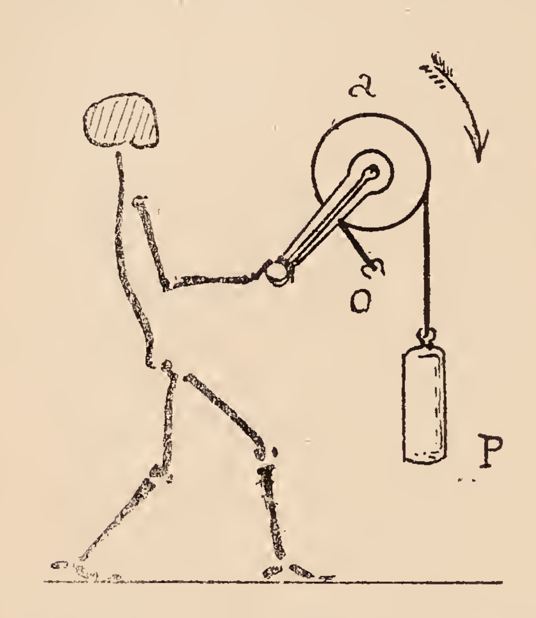


Fig. 275. — Machine gymnastique destinée à faire produire du travail au moyen des bras.

Un tambour *a* est serré par une bande d'acier faisant frein. Un poids P permet de varier la friction et, par suite, l'effort à faire pour faire tourner la manivelle.

On a cherché des combinaisons plus compliquées en ajoutant aux poignées des masses faisant l'office d'haltères. L'appareil perd alors ce qui constituait sa qualité, il n'est plus inerte, la masse des haltères change à chaque instant l'effet de la traction régulière et continue du caoutchouc et l'annule dans certains cas. La figure 183 montre bien la différence entre l'action continue d'un ressort et la résistance variable de l'haltère sur la contraction des muscles du bras. L'exercice aux appareils à ressort produit une fatigue locale sans pour cela demander une grande dépense de travail. Pour l'éviter il faut savoir en varier l'effet et faire porter la contraction sur des muscles différents.

Il ne faudra jamais prendre un contrepoids assez lourd pour empêcher l'extension ou l'amplitude complète des mouvements, faire les exercices à bras demi fléchis serait un défaut sérieux. A ces conditions les appareils à caoutchouc peuvent rendre des services au point de vue du développement musculaire, bien

peu au point de vue hygiénique et point du tout au point de vue économique, c'est-à-dire au point de vue de l'adresse.

Appareils a friction constante. — Il y a encore des machines gymnastiques où la résistance à vaincre est une friction au lieu d'un contrepoids. Il n'y a plus alors d'action due à la vitesse ou à l'inertie du poids, la résistance est constante et graduée. Elle est produite souvent par un frein agissant à la circonférence d'un disque (fig. 275).

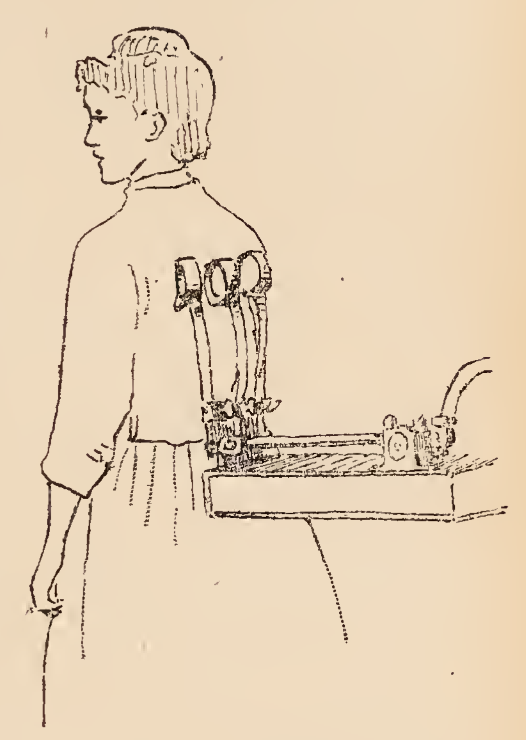


Fig. 276. — Appareil mécanique à tapotements de Zander.

Pour que le mouvement ait quelque effet gymnastique il faut se servir d'une manivelle de grande dimension et adaptée à la taille.

Si l'on tourne la roue d'arrière en avant et de haut en bas, l'effort musculaire est différent suivant la situation de la manivelle. Durant la demi-révolution descendante, la contraction des extenseurs de l'avant-bras, des adducteurs du bras et des fléchisseurs du tronc est mise en jeu.

Dans la demi-révolution ascendante, au contraire, les fléchisseurs de l'avant-bras, les élévateurs du bras et les extenseurs du tronc sont à leur tour les agents du mouvement.

Cette disposition est excellente si l'on a soin de bien régler la dimension de la manivelle et l'intensité de la résistance.

Les appareils à manivelles et à friction sont des freins dynamogéniques, c'est-à-dire absorbant du travail et pouvant le mesurer. Ils sont employés pour cette raison plutôt au point de vue de l'hygiène qu'à celui de l'esthétique. Ils provoquent l'essoufflement et la transpiration, ce sont donc des brûleurs des réserves de graisse et sont même recommandés spécialement pour faire maigrir les personnes obèses.

Appareils mécano-thérapiques. — Il faut ici compléter la liste des appareils mécaniques par les remarquables appareils mécano-thérapeutiques imaginés par le Dr Zander. Ce dernier

a réalisé des mécanismes ingénieux remplaçant les aides opposants de la gymnastique médicale suédoise. Ils sont devenus assez délicats et assez maniables pour remplacer l'action de la main dans les massages, frictions, tapotements et trépidations (fig. 276).



Fig. 277. — Garde d'escrime.

C'est dans les affections abdominales qu'ils sont surtout employés avec succès. On voit dans la nombreuse série des appareils Zander les machines exécutant passivement tous les mouvements naturels articulaires, même les mouvements respiratoires, leur inconvénient est celui de tous les appareils à contrepoids signalés plus haut : inertie et résistance ne suivant pas la loi de l'effort musculaire dans toutes ses variations, développement des muscles sans éducation des mouvements. Pour plus de détails nous renvoyons le lecteur aux traités spéciaux[1].

Escrime. — Les exercices d'escrime, de bâton, de canne et de boxe rentrent dans la classe des exercices de vitesse,

1. Zander, *Mécano-thérapie*.

comme nous l'avons vu, ils mettent l'organisme dans des conditions physiologiques toutes différentes des exercices précédents.

Comme exercices de vitesse ils consomment du travail et activent fortement les grandes fonctions, leur effet hygiénique sera certain dans une atmosphère pure. Au point de vue mécanique, ils pèchent, sauf la boxe française où l'on donne le coup de pied et le coup de poing, par l'uniformité des mouvements,



Fig. 278. — Fente de l'escrime à fond (coup droit).

ils peuvent ainsi déformer ; tous les maîtres d'armes ont les muscles de la cuisse du côté où l'on tient l'épée, présentant une hypertrophie caractéristique. M. le Dr Roblot a constaté sur des élèves de l'École militaire de Joinville-le-Pont une saillie interne produite par l'hypertrophie du paquet des muscles adducteurs, en outre une hypertrophie du droit antérieur et du triceps fémoral dont la partie charnue descend plus bas que celle du côté opposé[1]. Le travail des bras dans l'escrime au fleuret est insignifiant par rapport au travail des jambes. Le coup droit, base de l'escrime est une fente rapide, il faut un coup de jarret solide pour avoir de la vitesse et un faire effort considérable pour revenir en garde. Les jambes se développent donc démesurément, les bras restent grêles (fig. 163 et 278).

De plus la garde de l'escrime n'est point symétrique et M. Roblot constate sur le tiers des maîtres d'armes un abaissement manifeste de l'épaule du côté de l'épée, avec développe-

1. Roblot, *Guide pratique des exercices physiques;* Paris, Société d'éditions scientifiques.

ment considérable des muscles correspondants. La scoliose n'est pas la conséquence nécessaire de la dissymétrie de l'escrime, nous en trouvons la raison dans la mobilité constante de celui qui tient une épée. Les déformations sont, nous l'avons vu, plutôt le fait des mauvaises attitudes de repos que l'effet des mouvements dans de mauvaises positions. Il ne faut pas s'étonner de l'hypertrophie des muscles extenseurs de la jambe du côté droit. Si l'on y réfléchit, on se rendra compte de l'effort supporté par ces muscles. Dans la fente, le poids du corps porte en partie sur le pied en avant. La flexion de la cuisse sur la jambe tend à se produire sous l'action de ce poids et la jambe faisant avec la cuisse un angle obtus, les muscles extenseurs sont dans un moment défavorable à leur action, beaucoup plus défavorable que la jambe tendue en arrière. Leur section se développe en raison de l'effort considérable qu'ils déploient. De plus, remarque importante, les mouvements de la jambe droite et ceux de la jambe gauche sont tout différents, la jambe gauche s'étend toujours à fond, la jambe droite reste toujours fléchie, à cette différence dans l'amplitude du mouvement correspond une forme différente des muscles suivant la loi générale. Le triceps droit faisant plus d'effort et moins d'étendue de mouvement a son corps charnu plus gros et moins long que le triceps gauche. L'hypertrophie des adducteurs de la cuisse s'explique par la remise en garde, véritable mouvement d'adduction rapide de la cuisse (279 et 280).

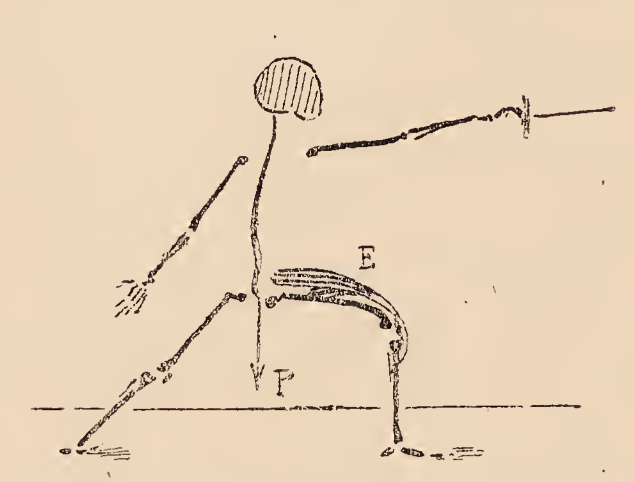


Fig. 279. — Destinée à montrer la raison du développement excessif des extenseurs de la jambe antérieure chez les escrimeurs.

Le poids du corps P est équilibré par les extenseurs E qui empêchent la cuisse de se fléchir.

L'escrime est loin d'être un exercice complet et n'est pas comparable à la boxe française au point de vue du développement (281).

La garde de celle-ci laisserait à désirer au point de vue gymnastique vu la position des bras devant la poitrine, mais

pour la stabilité du corps, l'extension du rachis, la variété des mouvements et l'agilité, cet exercice n'a pas son pareil.

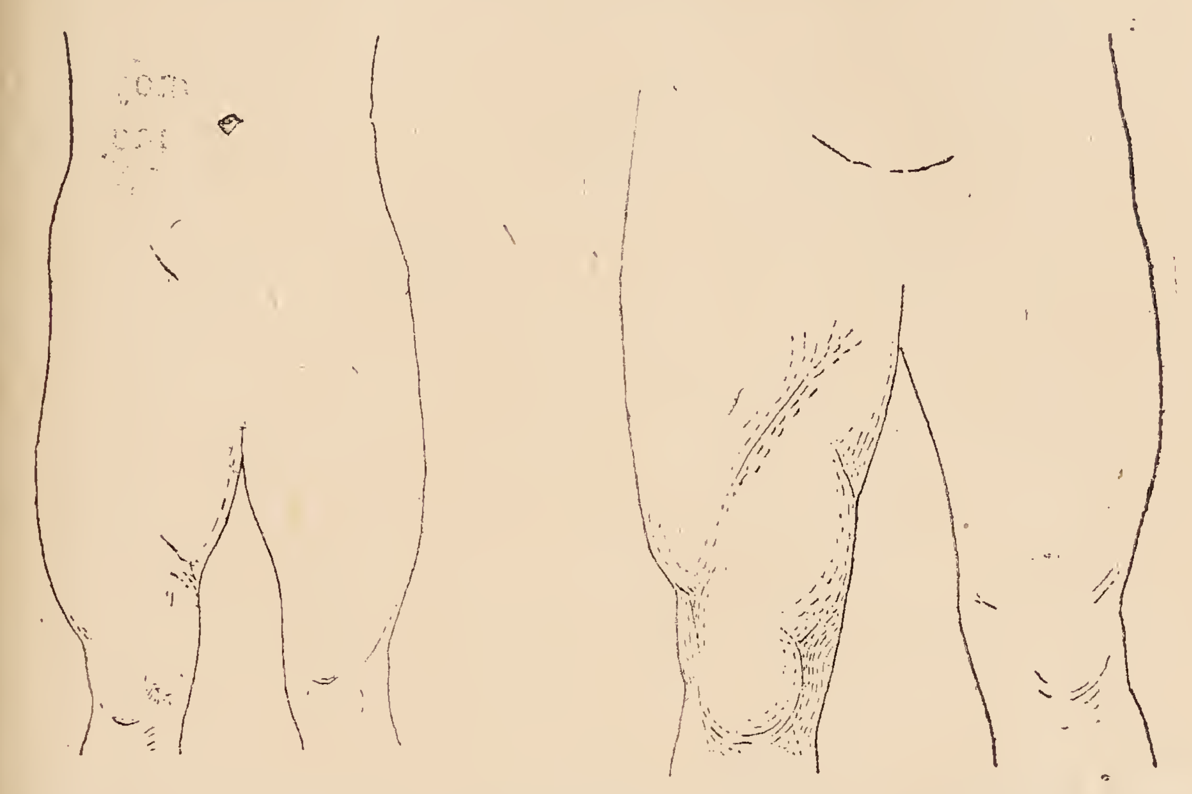


Fig. 280. — Hypertrophie de la cuisse droite chez des maîtres d'armes (Dr Roblot).

L'escrime au sabre et l'escrime à la baïonnette sont plus lourdes ; on n'y rencontre pas la délicatesse de la main nécessaire

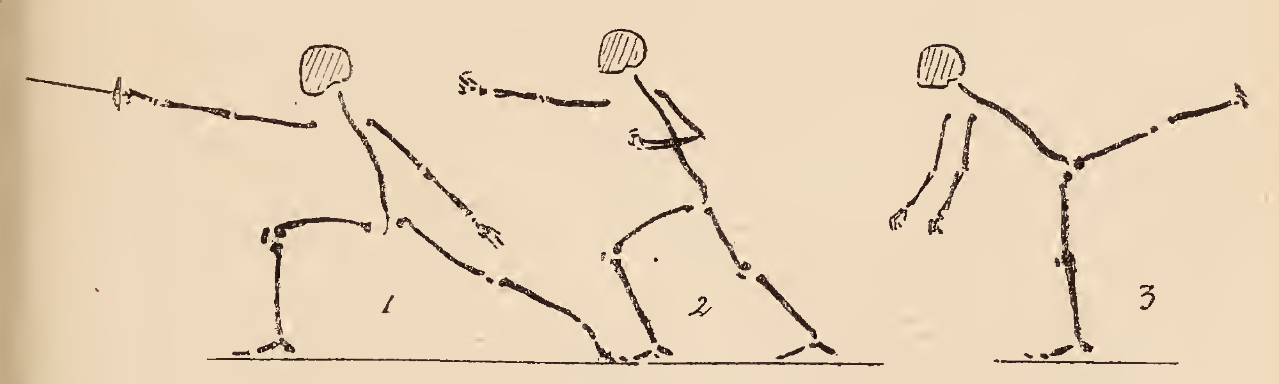


Fig. 281. — Destinée à montrer les différences dans l'amplitude des mouvements principaux :

1, de l'escrime ; 2, de la boxe anglaise ; 3, de la boxe française.

à manier l'épée. Le bâton et la canne ont l'avantage d'apprendre à se servir pour sa défense d'instruments à la portée de tous.

Boxe. — La boxe est encore l'exercice de défense par excellence, chacun porte en lui ses armes naturelles (fig. 282 à 286).

En Angleterre les querelles sont vidées sur le champ sans de bien grands inconvénients et sans qu'il soit besoin des cérémonies du duel moderne. Avec les poings et les pieds la boxe est une défense terrible au moyen de laquelle un homme de moyenne



Fig. 282. — Garde de la boxe.

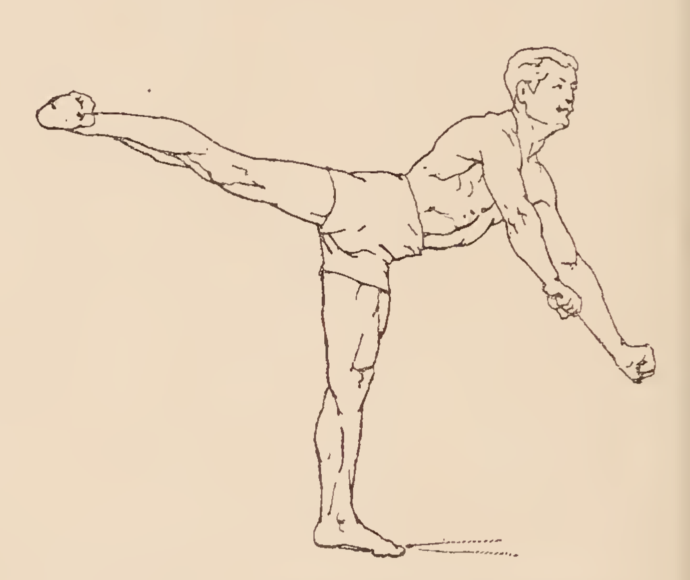


Fig. 283.— Coup de pied de figure

force peut faire face à plusieurs adversaires. Mais il faut bien restreindre ses coups et laisser de côté les coups de pied de

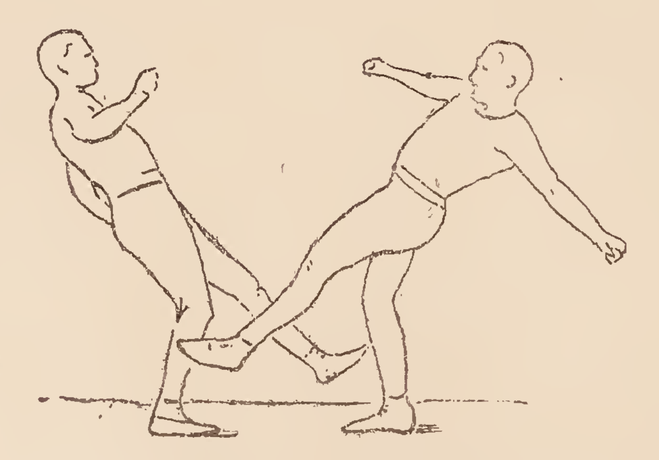


Fig. 284. — Boxe française ; riposte du coup de pied bas.

figure et autres mouvements plus gymnastiques et plus élégants que pratiques, on risquerait d'être touché et de perdre son équilibre, la première chose à conserver (fig. 284, 285 et 286).

Il en est de même pour la canne, les moulinets sont moins dangereux que les coups de figure et les coups droits. La boxe et le bâton sont des exercices de défense à la condition de

s'entraîner à donner les coups pour frapper sérieusement. Dans la leçon et dans l'assaut on prend l'habitude de retenir ses coups, de les indiquer seulement sans les donner à fond,

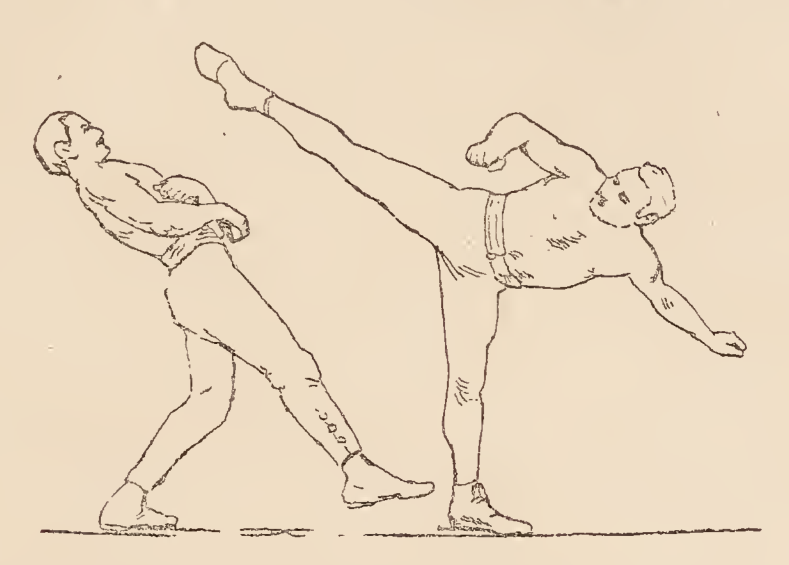


Fig. 285.— Attitude de la boxe française prise dans un assaut. Coup de pied de figure avec esquive de la tête.

c'est une façon de procéder qui manque de logique. La boxe et le bâton sont destinés à tuer ou au moins à mettre un adver-

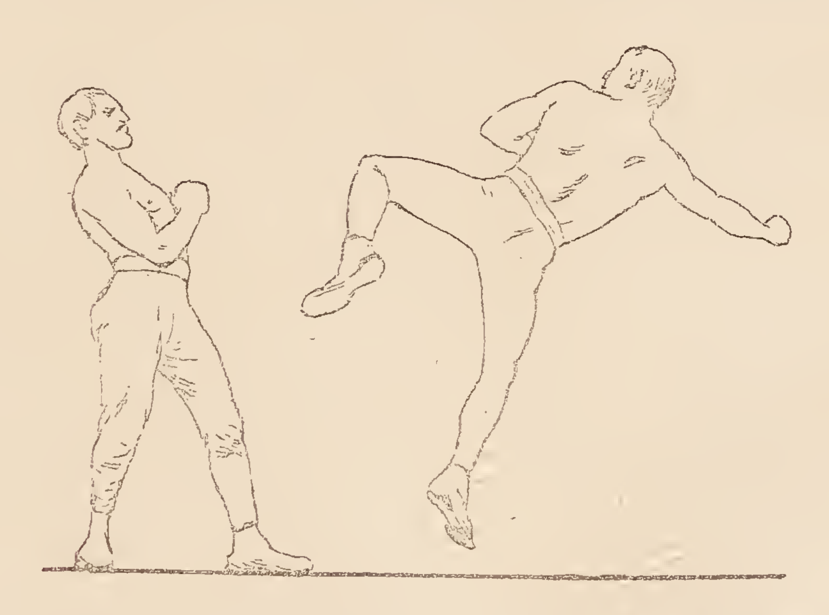


Fig. 286. — Boxe française. Coup de pied donné en sautant en l'air.

saire hors de combat, il ne faut pas en faire une sorte de danse inoffensive et un pur exercice gymnastique. On doit apprendre à frapper et à frapper dur. Nous n'admettons pas les combats professionnels où des paris d'argent sont engagés, il suffit d'en avoir vu un seul pour en être dégoûté à jamais. Mais autre chose est d'aller par goût ou par dépravation à des spectacles répugnants ou de se défendre dans une rencontre que l'on n'a

pas cherchée. C'est une supériorité évidente de pouvoir répondre par un solide coup de poing à une insulte ou à une attaque quelquefois impossible à éviter.

Les exercices d'escrime, de boxe, de canne et de bâton ont des effets psychiques considérables; mais ce qui contribue à donner la noblesse des sentiments peut dégénérer et développer les plus vils instincts. Devant un adversaire, l'audace, l'à-propos, la générosité, la décision, la promptitude, la fierté, la loyauté sont mises en jeu; ce sont des qualités morales ayant pour contre-partie la témérité, la fatuité, l'orgueil, la ruse, la lâcheté et la traîtrise. Ce sera à l'éducateur intelligent de tuer ces défauts à leur apparition et d'inculquer à son élève la note juste, preuve de goût, de tact et d'élévation d'esprit.

Résumé de l'effet des exercices. — En résumé, les exercices musculaires produisent des *effets généraux* ou des *effets locaux* distincts. L'effet général le plus intéressant consiste dans l'activité des échanges nutritifs ; il est le résultat d'une dépense de travail musculaire mettant en action les grandes fonctions de la vie. La dose de travail est, avec le rythme du travail, le facteur essentiel à considérer; le genre de travail est moins important, mais il faut préalablement veiller au régime, à l'alimentation, aux soins de propreté et aux conditions favorables du milieu pour avoir tous les éléments nécessaires à assurer notre santé.

Les *effets locaux* de l'exercice dépendent de la répartition des contractions musculaires et de leur influence sur la forme du corps et sur les organes essentiels qu'il contient. On doit tirer parti des contractions pour rectifier le rachis, dilater le thorax, resserrer l'abdomen, étendre les articulations toujours fléchies, allonger certains muscles, et en raccourcir d'autres.

Le résultat dépend uniquement du genre d'exercice employé. Autant l'incohérence des mouvements est, dans une certaine mesure compatible avec l'effet général, autant l'ordre et la méthode sont ici indispensables et nécessitent des conditions favorables au résultat cherché.

Les effets de l'exercice sur le système nerveux coordinateur dépendent de la perfection dans l'exécution des mouvements ; ils se manifestent par l'économie, l'adresse et la meilleure utilisation des forces.

La qualité d'un mouvement dépend du plus grand nombre d'avantages qu'il nous donne au point de vue de l'hygiène, de la beauté corporelle, de l'utilisation économique de nos forces et de l'effet moral, plaisir ou qualités viriles qu'il développe.

La science de l'éducation consiste à faire un choix des exercices justifié par leurs qualités et un classement méthodique en vue de notre perfectionnement. Il faut en outre tenir compte des exigences du milieu social et établir la gradation suivant l'état psychique des individus. Par les modifications dans les mouvements respiratoires et la régularisation du cours du sang, les fonctions sont bien améliorées.

Suivant l'idée dirigeante et l'énergie dépensée, l'exercice agit sur les fonctions les plus élevées du cerveau, sur le caractère, la volonté, l'initiative, l'indépendance et la moralité ; il donne des jouissances saines, durables, compatibles avec la vigueur et les qualités viriles qui sont seules la garantie de la force d'une nation.

Les mouvements exécutés librement sans appareils sous forme de jeux et sous forme d'exercices esthétiques avec toute l'ampleur et la vigueur qu'ils permettent sont suffisants au développement de l'enfant et à l'entretien de la santé. Ils sont naturels, faciles à exécuter et à graduer assouplissent et coordonnent les mouvements en apprenant à les rythmer.

Ils conviennent avant tout à l'enfant parce qu'ils ne lui demandent que des efforts proportionnés à sa structure. Ils doivent surtout viser la nutrition complète des muscles en longueur en excluant des contractions énergiques des muscles raccourcis ce qui déforme le squelette et nuirait à son développement ultérieur. Exception est faite pour les muscles du dos redresseurs de l'épaule, dilatateurs du thorax et compresseurs de l'abdomen.

L'avantage des mouvements libres est de pouvoir être exécutés partout et simultanément par un grand nombre à la fois. Leur importance dans la gymnastique scolaire est manifeste.

On utilisera le poids du corps dans toutes les inclinaisons possibles comme résistances à vaincre (fig. 287 et 288).

Il faut encore pour être complet ajouter les luttes et oppositions, les exercices de vitesse et les exercices de lancer, la marche, la course et le saut, la boxe, la canne et l'escrime.

Cette gymnastique toute naturelle est la seule qui puisse, avec certitude, amener l'homme à son développement normal. conforme à l'attitude bipède.

Croire obtenir un effet utile plus intense sur la santé et sur la bonne attitude du corps parce qu'on emploie des appareils portatifs ou des engins gymnastiques est un préjugé que nous avons longuement combattu en montrant qu'une progression rationnelle ne doit pas être seulement basée sur l'intensité des contractions musculaires mais bien sur la répartition de ces contractions et l'effet utile produit.



Fig. 287. — Fente en avant exécutée avec une amplitude considérable.

Nous avons montré le rôle spécial des masses additionnelles agissant au repos exclusivement sur les muscles élévateurs de l'épaule, les extenseurs du tronc et des membres inférieurs, nous avons déterminé leur effet complexe pendant les mouvements et indiqué l'action de leur inertie. L'usage des haltères et massues est ainsi mieux défini. Celui des barres en bois est trompeur, il remplace les contractions musculaires utiles plutôt que d'en susciter de nouvelles.

La suspension et l'appui ne nous offrent point de différences assez importantes pour les considérer comme exercices complémentaires ; surtout pour les opposer l'une à l'autre. Au point de vue des réactions musculaires il faut opposer à la suspension la poussée contre une barre, l'élévation d'une barre lourde ou la station sur les mains ; à l'appui, le port de fardeaux à la main. Il est indispensable d'observer dans ces exercices une progression en ne quittant pas de suite le sol, mais en conservant des appuis simultanés des pieds et des mains, en répartissant ainsi convenablement la charge au moyen des attitudes inclinées. Sauf exception il n'y a qu'une période de la vie où le rapport du poids du corps à la force motrice des bras est favorable au grimper.

Cette période est relativement courte.

Dans la jeunesse on brille dans les exercices de voltige et de grimper justement parce que le poids du corps est en rapport avec la force des bras, de là vient le goût pour les appareils.

Mais on ne peut recommander cette gymnastique à tout âge, elle est trop spéciale, incomplète, elle ne convient ni à la première enfance ni à l'âge mûr. Le corps s'épaissit, il devient trop lourd pour les bras ; on n'est pas pour cela moins vigoureux,

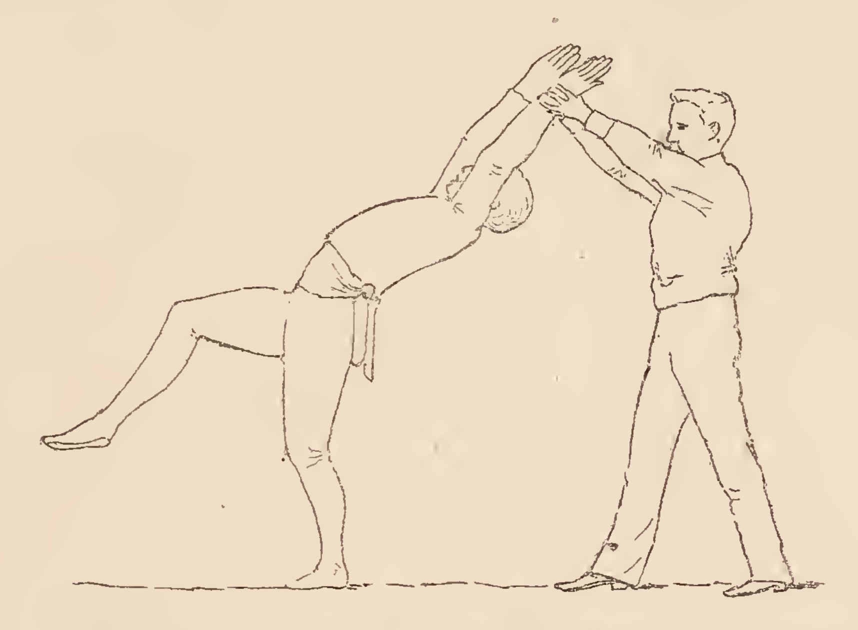


Fig. 288. — Aide remplaçant un appareil d'appui ou l'espalier.

mais la force n'a pas augmenté en proportion de la résistance à vaincre. On abandonne ces exercices de la jeunesse quand on n'y est plus apte. Cependant il faut toujours s'exercer et il faut trouver d'autres mouvements appropriés.

Tous les exercices faits avec des appareils pesants portés à la main comme les suspensions et les appuis rentrent dans la classe des exercices spéciaux, ils sont incomplets puisque toujours la résistance due à la pesanteur est dirigée verticalement.

Il est indispensable de les compléter par des actions horizontales, soit en changeant la position du corps soit en introduisant les luttes ou les appareils à contrepoids ; ces derniers rentrent dans les exercices généraux parce qu'on peut varier la direction et l'intensité de la résistance à vaincre en tous sens et en toute grandeur.

Les exercices de poids lourds sont des exercices spéciaux mettant toujours en jeu les mêmes groupes de muscles. Les deltoïdes se fatiguent, les parties supérieures des trapèzes se raccourcissent et diminuent la longueur apparente du cou, les

extenseurs du rachis et du tronc surmenés préparent pour la vieillesse une faiblesse prématurée de la région lombaire.

La *suspension* a l'avantage de mettre en jeu les abaisseurs des bras et d'être ainsi le complément et l'antagoniste des exercices d'haltères ; elle serait donc utile à ce point de vue seul, même si l'on ignorait ses effets sur le développement thoracique.

Seulement, tandis que les haltères peuvent fournir des résistances graduées suivant leur poids, la suspension donne lieu à une résistance constante qui est le poids du corps, et il peut y avoir disproportion entre ce poids et la puissance musculaire des adducteurs. La facilité avec laquelle s'exécutent les exercices de suspension quels qu'ils soient, dépend de conditions toutes spéciales indiquées plus haut. Leur avantage est de développer les muscles inspirateurs élévateurs des côtes ; leur inconvénient est de transformer l'homme en grimpeur ; s'ils sont exécutés sans attention à des obstacles qui ne conservent pas aux bras leur parallélisme, comme aux anneaux, ils peuvent exagérer l'action des pectoraux et nuire ainsi à la beauté de l'attitude et au développement thoracique.

Les *exercices d'appui* ont peu d'effet, ce n'est que de leur mode d'exécution que dépend leur bonne ou mauvaise qualité.

Nous avons vu précédemment qu'ils ne nécessitent pas le concours de puissances musculaires utiles au développement thoracique.

Le bras maintenu en extension sert de support au tronc par l'intermédiaire de l'omoplate reposant sur la voûte acromio-coracoïdienne et les muscles qui s'y rattachent. Il est indifférent pour l'équilibre que l'omoplate soit amenée en avant ou en arrière, ou même que l'épaule soit soulevée en totalité. L'inconvénient des appuis se résume en ces deux mots : *L'effet utile n'est pas inhérent au mouvement, il lui est surajouté par la contraction volontaire des muscles correcteurs de ses mauvaises qualités.*

Les exercices prolongés d'appui transforment les muscles supérieurs en organes de locomotion. Le bassin est remplacé alors par l'épaule dont la solidité est due seulement à la contraction des muscles fixateurs. Pour que les exercices aient un effet utile dans l'application il faut attendre que l'ossification soit ter-

minée et que les muscles fixateurs de l'épaule soient bien développés.

Si l'on veut de ces observations déterminer l'importance relative que l'on doit donner aux mouvements libres, aux appuis et aux suspensions dans la leçon de gymnastique rationnelle, c'est d'abord à la leçon de plancher complète qu'il faut avoir recours, elle seule est suffisante; la suspension est

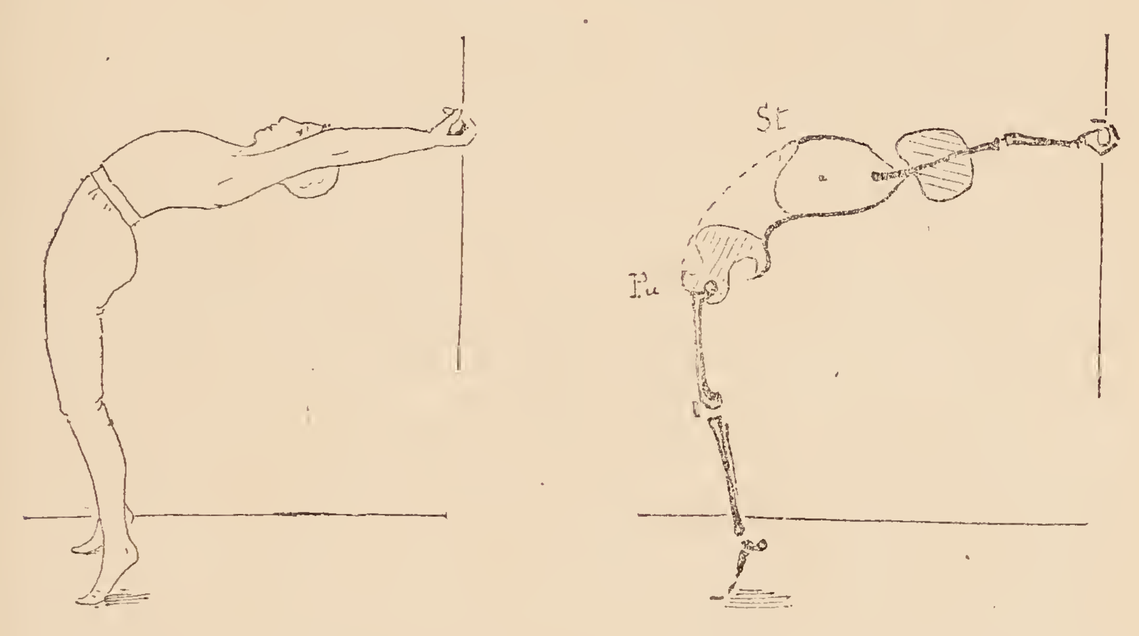


Fig. 289. — Attitude de la courbe raidie à l'espalier suédois.

On voit la courbure lombaire s'exagérer en même temps que la distance du pubis au sternum. Les muscles de l'abdomen sont allongés.

indispensable pour contre-balancer l'effet exagéré des poids et contribuer au développement du thorax, mais elle doit être graduée, enfin les appuis ne doivent consister qu'en exercices généraux de voltige n'ayant pas la longue durée des progression que l'on peut rechercher dans les exercices de suspension.

Nous ne sommes pas d'avis d'allonger les muscles de l'abdomen par des courbes raidies exagérées dont on fait quelquefois abus dans la gymnastique suédoise. Dans les attitudes où le rachis est replié en arrière (fig. 289), le thorax est, il est vrai dilaté fortement, mais la distance entre le pubis et le sternum augmente ce qui amène l'ensellure avec renversement du bassin[1].

En bonne gymnastique, nous cherchons à rectifier la position de l'épaule et pour cela à raccourcir les muscles du dos, il faut chercher de même pour la bonne conformation lombaire et

1. Voir note 3.

abdominale à raccourcir les muscles du ventre et à passer du type 1 au type 2 (fig. 214).

Il faudrait ne pas dépasser les limites normales de l'extension du tronc et d'autre part conserver les exercices où les muscles de l'abdomen sont raccourcis, et ils sont nombreux. Une restriction cependant : il faut les exécuter en conservant aux muscles du dos leur raccourcissement et en veillant à la bonne attitude des épaules (fig. 289 et 290).

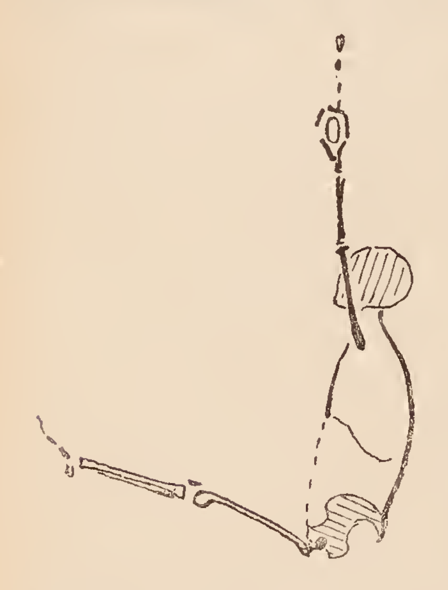


Fig. 290. — Suspension par les mains à une barre, les jambes en équerre.

On voit dans cette attitude la courbure lombaire diminuer ; les muscles abdominaux sont raccourcis et fortement contractés.

Bases de la pédagogie dans l'éducation physique. — Les notions acquises précédemment suffisent pour établir les bases d'une pédagogie de l'éducation physique.

Il n'y a qu'une éducation physique comme il n'y a qu'une organisation humaine. C'est l'effort personnel seul qui développe et améliore l'individu. Il faut éviter, surtout au début, les efforts stériles, il faut toujours un petit résultat, mais un résultat sensible encourageant et invitant à recommencer l'effort avec plaisir.

Les moyens employés doivent être simples, accessibles à tous et subordonnés au but à remplir. L'obligation d'enseigner à un grand nombre exclut les mouvements et les concours individuels pour chercher à élever le niveau moyen.

Les jeux et exercices méthodiques ne peuvent être séparés, ils se complètent et doivent présenter une gradation en rapport avec le degré d'instruction et de développement de l'élève. Ils doivent en outre être classés d'après leurs effets sur le corps. On établira un plan sur ce principe, en groupant par séries les exercices répondant au même but, ce qui permet de varier les détails en conservant l'unité dans l'ensemble, en général en prenant pour type le développement moyen.

Jusqu'à douze ou treize ans, le ballon, la marche, le colin-maillard demanderont un effort modéré donné en toute liberté.

De douze à seize ans il faut des jeux plus intenses mais ne

demandant pas encore de qualité de fond. Les barres, la paume, la boxe, le bâton, la course, les sauts, le vélocipède rempliront cette condition.

De seize à vingt ans les jeux prendront le caractère sportif dans la barette, la marche, la course, les sauts, les luttes, le canotage, l'escrime, etc.

Après vingt ans on peut rechercher dans un sport préféré les conditions de l'excellence en se spécialisant, mais il ne faut jamais abandonner la gymnastique générale. Ces conclusions ont été admises par M. le Dr Tissié et par nous et présentées à la Commission ministérielle de la réforme de l'éducation physique.

Les exercices méthodiques peuvent être classés d'après leur effet somatique seul et leur effet psychique, ce sont :

1. Les ensembles où chacun exécute les mêmes actes définis et au commandement comme les marches et exercices d'ensemble avec ou sans appareils ; leur but doit être surtout esthétique.

2. Les ensembles où les actes sont définis mais différents suivant le rôle particulier de l'élève. Ce sont les luttes, les oppositions deux à deux, les leçons de boxe, de bâton et d'escrime.

Leur but est d'exercer un grand nombre d'élèves à la fois ; de développer les parties faibles, de perfectionner l'attitude, d'éduquer le rythme, d'obtenir la coordination et l'indépendance des mouvements.

La discipline produit un effet psychique ; le fait d'obéir à un commandement, de se mettre dans un ensemble, et de chercher la correction des attitudes demande une attention soutenue.

3. Les ensembles où le mouvement est moins défini, où il y a des choses imprévues impossibles à régler à cause de la structure et de la constitution de l'élève ; ce sont les équilibres, les courses, les sauts, les exercices de lancer.

4. Les exercices où l'initiative et la spontanéité sont les maîtresses, exemple : Assauts de boxe, de canne, d'escrime, de lutte ; il faut dans ces assauts prendre à chaque instant une décision résultant d'actes spontanés et imprévus, d'où l'effet psychique intense, attention soutenue, rivalité et amour-propre fortement excités.

5. Les exercices d'application : natation, course de vitesse, sauts d'obstacles, grimper, sauvetages, maniement des armes

sollicitant particulièrement la volonté et où l'on recherche les meilleures manières d'utiliser la force avec adresse et économie.

Dans les exercices d'application la structure du corps exige des attitudes et des mouvements coordonnés en vue du but final qui est la vitesse, une longueur à franchir ou une hauteur à atteindre. Ce serait une erreur de confondre les exercices d'application avec les exercices esthétiques. Ainsi vouloir conserver dans un saut ou dans un rétablissement une attitude correcte, comme celle que l'on recherche dans les positions fondamentales de la gymnastique esthétique, conduirait à faire des mouvements mauvais aux deux points de vue esthétique et économique.

Nous avons déjà insisté sur la nécessité de faire le partage bien net entre les exercices de développement et les exercices d'application [1].

Les exercices de développement doivent toujours précéder les seconds et avoir un effet intense ; les exercices d'application doivent avoir une toute autre direction, leur qualité réside dans leur bonne exécution au point de vue de l'effet utile produit.

Un gymnaste qui chercherait à bomber la poitrine pendant un rétablissement sur une planche ou pendant la suspension d'un saut risquerait fort de dépenser toute sa force sans résultat utile.

Ne confondons pas l'énergie d'un exercice avec la brutalité avec laquelle on l'exécute et souvent en détruit tout l'effet en amenant le désordre des contractions. L'intensité de l'effet constitue seule l'énergie du mouvement; ce dernier est d'autant plus énergique que son effet est plus intense et mieux défini.

Il y a là une différence fondamentale dans la façon de concevoir l'enseignement.

Un système d'éducation doit avoir un plan et être complet ; il ne peut prendre pour base quelques appareils de gymnastique spéciaux mais doit comprendre un ensemble de moyens de perfectionnement. Une grossière erreur est de prendre les moyens employés par les athlètes et les adultes pour les adapter à l'enfant, il faut faire au contraire une distinction entre la gymnastique scolaire ou éducative et la gymnastique militaire ou d'application.

1. *Cours supérieur d'éducation physique*, 7e leçon, F. Alcan, 1905.

La gymnastique éducative est en même temps une gymnastique de développement et de redressement autant que gymnastique hygiénique, la gymnastique d'application doit avoir un but immédiat utile à l'individu et à la société. Elle doit être en même temps la fin de tout exercice.

Travail manuel. — Le travail manuel est indispensable à pratiquer, mais il faut qu'il s'exécute dans de bonnes conditions hygiéniques et esthétiques si l'on veut le considérer comme faisant partie intégrante de l'éducation physique.

Tout travail manuel peut être étudié à deux points de vue : au point de vue du travail en lui-même, de son utilité et de sa perfection ; au point de vue de l'effet produit sur le travailleur.

Chaque mode de travail laisse en effet ses traces sur le corps en vertu de la loi d'adaptation. Il y a lieu de l'étudier comme tout exercice sous le rapport de la santé, de la conformation du corps, de l'adresse et de l'habileté qu'il demande et des qualites morales et sociales qu'il développe.

Les différents métiers peuvent, au point de vue hygiénique, se diviser en quatre grands groupes : Ceux qui exigent une faible dépense de travail comme les métiers artistiques, ceux qui demandent une grande dépense de travail : les travaux manuels proprement dits exécutés à l'air libre ou à l'air confiné.

Le premier groupe comprend les cochers, conducteurs, peintres, surveillants toujours à l'air et dépensant peu de travail.

Le second les couturières, les ouvriers sédentaires et séjournant dans l'air confiné ou chargé de poussières délétères des manufactures.

Le troisième : les professions rurales, débardeurs, maçons, charpentiers demandant une dépense intense de travail.

Le quatrième : les forgerons, les bouchers, boulangers, les mineurs et autres métiers pénibles à air confiné.

Il y aurait lieu de distinguer parmi les métiers ceux qui emploient de grands efforts et ceux qui dépensent le travail par petites doses rythmées.

Au point de vue esthétique, les professions sédentaires exigeant des attitudes soutenues se distinguent des professions actives, nécessitant des mouvements dans des attitudes de travail

Les premières se rencontrent dans la couture, dans les écoles, elles occasionnent des déformations du squelette surtout dans l'enfance.

Les secondes produisent des déformations musculaires si elles exigent la répétition des mouvements spéciaux; plus rarement elles donnent lieu à des déformations du squelette, un correctif gymnastique est néanmoins nécessaire pour les prévenir. Nous avons déjà indiqué certains métiers qui courbent ou redressent le tronc, il y aurait lieu d'étudier chaque cas particulier.

Au point de vue économique ou utile, l'adresse manuelle joue une grande part, il y a des métiers plus ou moins compliqués, plus ou moins délicats qui demandent une coordination des mouvements plus ou moins parfaite pour utiliser ses forces avec profit.

Les charpentiers doivent de plus vaincre le vertige en s'habituant à travailler sur des lieux élevés, d'un abord dangereux et difficile. C'est là une nouvelle complication.

Au point de vue moral, certains métiers contribuent à affiner les sens. Donnant l'occasion de matérialiser sa pensée, ils impriment à celle-ci un caractère positif et concret et rendent ainsi le jugement plus précis, l'homme plus indépendant et plus sociable en rapprochant les ouvriers et les penseurs et en faisant apprécier les difficultés et le mérite du travail.

Ces bases étant fixées, la matière même de la pédagogie en est la conséquence, mais elle exige un développement considérable que nous nous proposons de donner ailleurs.

CHAPITRE III

LOCOMOTION

§ 1er. — Analyse cinématique et dynamique des allures normales.

Considérations générales sur l'étude des allures. — Toute progression, tout déplacement continu ou intermittent de la masse du corps sur le sol ou sur des obstacles implique des forces extérieures. Ces forces d'impulsion se développent aux points de contact du corps avec le sol ou les objets sur lesquels il repose.

Elles naissent d'un effort musculaire produisant l'extension ou la flexion des membres et du tronc. Si le sol ou les obstacles sont mobiles, une partie de l'effort sera employé à les déplacer, mais il y aura toujours égalité entre les quantités de mouvement communiqué d'une part au corps dans le sens de la progression et d'autre part à l'obstacle servant de point d'appui.

Vu la structure des articulations, la force impulsive est forcément périodique, le mouvement de rotation pourrait seul donner une impulsion continue ; ce mouvement ne peut exister vu la continuité des pièces du squelette nécessaire à leur nutrition. La force motrice est généralement rythmée et périodique; elle est produite par l'extension successive des membres se fléchissant ensuite pour s'étendre de nouveau ; elle imprime ainsi au corps des poussées successives à des époques régulières. L'inertie de la masse du corps régularise le mouvement et ainsi se trouve réalisé par des efforts discontinus l'effet d'une force d'impulsion ayant une action constante. Nous avons à examiner en particulier chacun des éléments essentiels du mécanisme de la locomotion. Les lois de la locomotion sont connues, nous en

avons fait une étude expérimentale approfondie pendant les années où nous dirigions le laboratoire de M. le professeur Marey et nous allons donner un résumé de ces travaux pour en tirer des conséquences pratiques justifiées.

En éducation physique comme dans toute éducation, le professeur n'a pas pour mission de réglementer la nature, mais il doit au contraire se conformer à ses lois et mettre l'organisme humain dans les conditions les plus favorables au perfectionnement de ses fonctions normales. On apprend à marcher, à courir et à sauter comme on apprend autre chose.

L'enseignement pratique doit être conforme aux lois de la locomotion. S'il n'en est pas ainsi actuellement dans les programmes de l'armée et des écoles, les réformes à faire doivent être dirigées dans ce sens.

On peut imposer à un enfant une éducation artificielle et fausse, on pourra l'y rompre mais on ne l'aura pas perfectionné. Si les mouvements imposés ne sont point d'accord avec la structure des organes locomoteurs et avec les lois du mécanisme des mouvements, on n'obtiendra jamais tout le bénéfice qu'il pourrait tirer de ses moyens naturels.

Il faut des observations et des moyens de contrôle, la raison pure et les sens ne suffisant pas à cette investigation. Le praticien seul ne peut donner de solutions complètes et certaines ; le praticien est guidé par ses sensations personnelles, ses habitudes font acte de foi, et lui rendent impossible toute nouvelle méthode. Il considère alors comme la meilleure celle à laquelle il est rompu. Aussi voit-on quelquefois autant d'opinions que de praticiens. Comment se diriger au milieu de cette tour de Babel. Il faut étudier les mouvements sans idée préconçue et comparer les sujets entre eux. Les méthodes graphiques et photographiques que M. Marey a étendues à l'analyse des mouvements sont un moyen précieux d'étude. Entre des mains habiles elles permettent de voir juste et sans interprétation ce qui se passe dans les actes les plus délicats de la locomotion.

La longue pratique de ces recherches nous a montré la tendance de tous les sujets d'élite vers un type commun et que la supériorité consiste surtout dans l'économie de la force en la donnant aux moments et dans la direction les plus favorables, en réduisant au minimum les contractions musculaires.

Les sujets d'élite tiennent leurs qualités de leur structure et de leur éducation. Ils jouissent des avantages de leurs aptitudes innées et savent utiliser par instinct ou par éducation les moyens dont ils disposent, nous allons essayer de les étudier dans la marche, la course et le saut.

Direction oblique et intermittence de la force motrice. — Dans la locomotion la force motrice nécessaire pour progresser est une poussée exercée par le pied en contact avec le sol. L'impulsion est produite par l'extension du membre inférieur ; il faut un point d'appui pour ce dernier, il est donné par le frottement du pied au contact du sol, le frottement fixe le pied et permet l'allongement du membre inférieur du côté de la hanche.

Sans frottement sur le sol, pas d'impulsion possible, le pied glisserait et le corps resterait en place. On sait la difficulté de la marche sur un plan de glace horizontal et poli.

Nous voyons immédiatement combien l'effort de notre jambe est désavantageux au point de vue de la progression. Il n'est point dirigé suivant la direction à suivre, il est oblique au lieu d'être horizontal, de là perte considérable de force, de plus, il cesse avec l'extension du membre à l'appui, de là intermittence dans l'action.

Le pied qui vient de pousser doit être immédiatement relayé par l'autre, le corps doit être toujours soutenu par une des jambes ; pendant que l'impulsion est donnée par l'une, l'autre se prépare à soutenir le poids du corps jusqu'au moment où elle deviendra à son tour impulsive.

Chaque jambe joue alternativement deux rôles, un rôle de soutien et d'amortissement et un rôle d'impulsion, la période complète de ces actes périodiques s'appelle le *pas*.

La marche est la succession d'une suite de pas ainsi définis.

L'obliquité des impulsions engendre un mouvement qui ne peut être rectiligne, leur périodicité engendre une vitesse qui ne peut jamais être uniforme ; mais l'art du marcheur est de se rapprocher le plus de l'uniformité et de la ligne droite, de rectifier la trajectoire de la hanche et d'uniformiser le mouvement ; il y arrive par la manière dont il fléchit et étend les divers segments du membre inférieur.

Définition des termes employés en locomotion. — Il est bon de définir les mots afin d'éviter la confusion :

Pas. — Succession des actes qui s'effectuent entre deux appuis successifs d'un même pied.

Longueur du pas. — Distance qui sépare la position d'un point du pied entre deux appuis successifs et qui peut se mesurer directement sur des empreintes laissées sur le sol.

Rythme, cadence d'une allure. — Nombre de pas ou d'appuis du même pied exécutés en une minute.

Vitesse de progression. — Vitesse moyenne de la masse du corps ou quotient de l'espace parcouru horizontalement par le temps employé à le parcourir.

Vitesse relative du pied par rapport au tronc. — Vitesse de translation du pied par rapport à la masse considérée immobile. La vitesse relative a pour valeur à chaque instant la différence entre la vitesse horizontale absolue du pied dans l'espace et la vitesse de translation du tronc.

Appui du pied. — Période du pas où le pied est en contact avec le sol.

Lever du pied. — Période du pas qui s'écoule entre deux appuis et où le pied ne touche pas le sol.

Suspension du membre inférieur. — Période qui suit l'appui et dans laquelle le membre tout entier est en réalité suspendu au bassin.

Oscillation du membre inférieur. — Mouvement angulaire exécuté par le membre inférieur tout entier, pendant sa suspension, autour de l'articulation coxo-fémorale, et dans un plan vertical parallèle à la direction de la progression.

Déroulement du membre inférieur. — Mouvement angulaire inverse exécuté par le membre inférieur autour du pied pendant son appui.

Rayon du membre inférieur. — Ligne droite idéale qui joint l'extrémité du fémur ou le centre du mouvement de l'articulation coxo-fémorale au milieu de la surface d'appui ou au centre de rotation du pied sur le sol pendant son appui et inversement pendant le lever.

Double appui. — Période de la marche qui précède immédiatement le lever du pied et pendant laquelle le corps repose sur les deux membres inférieurs.

Il y a alors effectivement deux pieds à l'appui sur le sol.

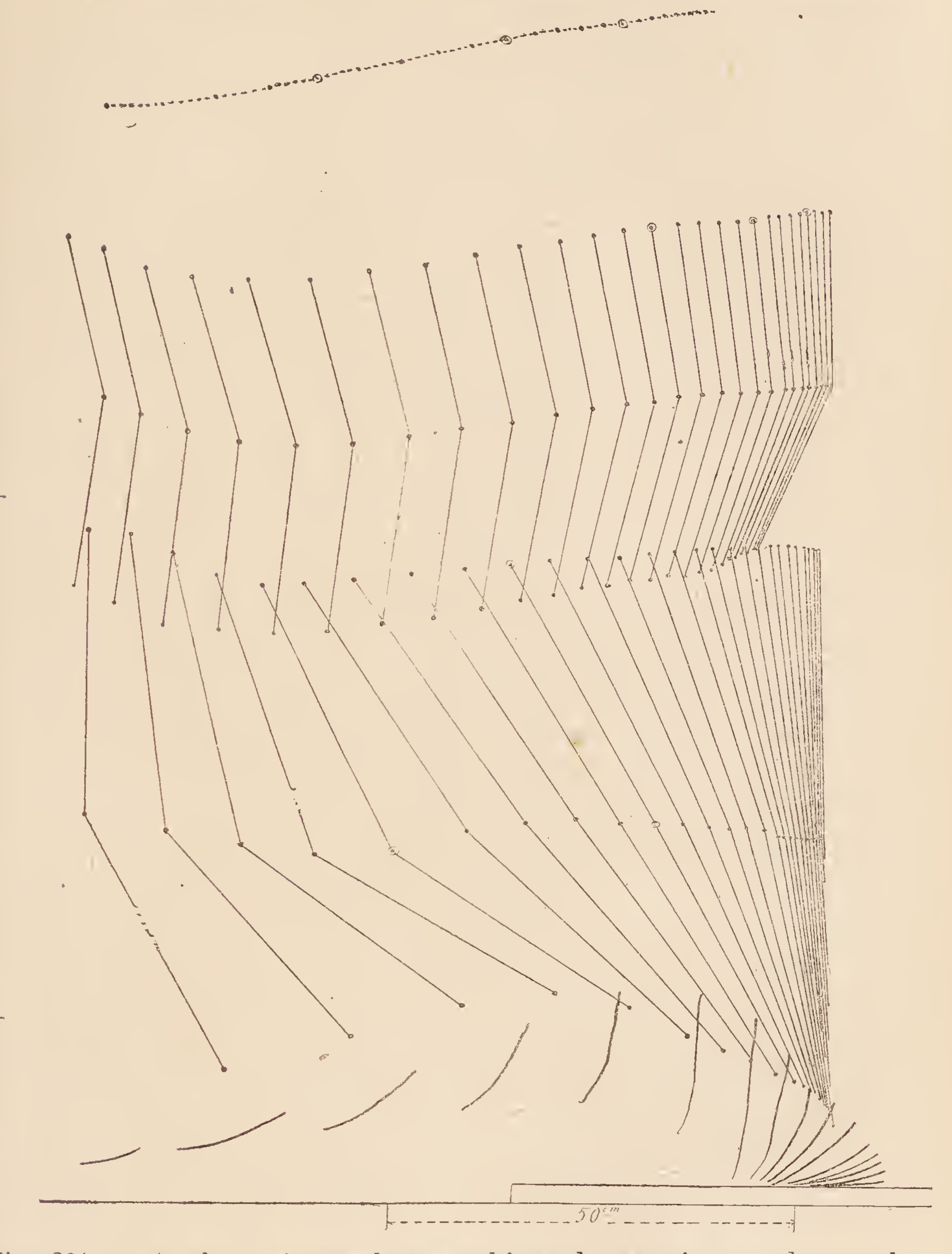


Fig. 291. — Analyse chronophotographique du premier pas de marche.

Chute du corps au commandement de « En avant ! » On voit le talon se soulever du sol pour allonger le rayon du membre à l'appui, et la jambe se fléchir pendant le lever du pied.

Suspension du corps. — Période de la course et du saut pendant laquelle le corps est complètement détaché du sol. Cette période suit immédiatement l'impulsion et précède la chute.

Flexion et extension d'un membre. — Actes musculaires qui ont pour effet de raccourcir ou d'allonger le rayon du membre inférieur ou supérieur.

Trajectoire d'un point du corps. — Ligne décrite dans l'espace par ce point et que les procédés de la photographie actuelle permettent de fixer et d'étudier.

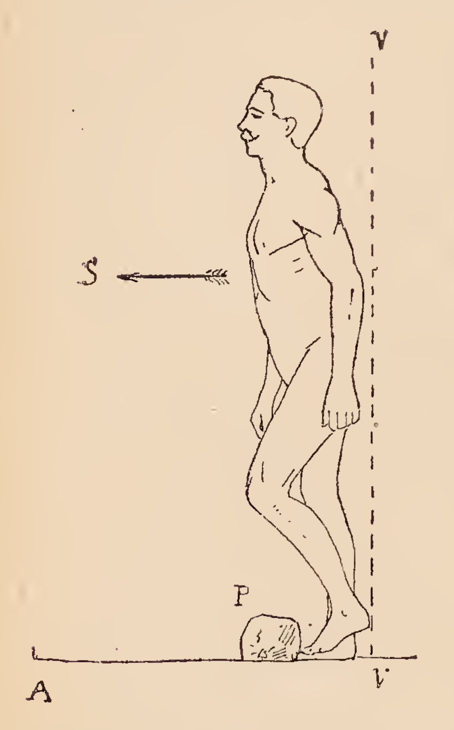


Fig. 292. — Marcheur dans l'impossibilité d'éviter une chute en avant si le pied levé vient buter une pierre P en vertu de la vitesse S qu'il possède.

Maximum ou minimum de la trajectoire d'un point du corps. — Les points remarquables où la trajectoire du point considéré vient à s'infléchir présentent un maximum ou un minimum, et la hauteur de ces points au-dessus du plan horizontal en donne la mesure.

Réaction verticale du tronc. — Quantité évaluée en centimètres qui mesure l'élévation de la tête pendant chaque appui dans la marche, pendant la suspension dans la course et le saut.

Cette élévation est comptée à partir du point le plus bas de la trajectoire. Les réactions ont donc pour valeur la différence entre un maximum et un minimum consécutifs.

Analyse des mouvements pendant la marche. — Étant en station droite, pour se mettre en marche du pied gauche, on porte le poids du corps sur la jambe droite, on penche légèrement le corps en avant et l'on fléchit les segments du membre inférieur gauche pour en réduire la longueur et lui permettre d'osciller sans toucher terre (fig. 291). Cette oscillation de la jambe est due à l'action musculaire, dans le cas d'une paralysie des fléchisseurs le pied traîne, et si l'on a une jambe ankylosée ou une jambe de bois, il faut la projeter latéralement, on fauche pour la dégager.

La jambe gauche continue à osciller ; à ce moment, si elle était arrêtée par un obstacle, la rencontre d'une pierre par exemple, le corps projeté en avant ne trouvant plus de point d'appui, il

se produirait une chute (fig. 292). Pendant que la jambe gauche oscille, la jambe droite toujours à l'appui s'étend, le pied droit se déroule sur le sol, l'action impulsive cesse avec l'allongement et le pied gauche pose à terre par le talon un peu avant le lever du pied droit. A cet instant très court le corps repose sur deux points d'appui : le talon gauche et les orteils droits (fig. 293,1 et 294). C'est la période de double appui.

A ce moment les jambes sont écartées au maximum, le corps est abaissé et la distance entre les deux talons mesure la longueur d'un demi-pas. Un peu après, le pied gauche s'applique contre le sol tandis que le pied droit quitte terre par la pointe. Alors la jambe droite se fléchit et oscille à son tour comme l'avait fait la jambe gauche ; le pied gauche se déroule sur le sol, la jambe gauche s'étend, le pied droit touche terre par le talon, le pied gauche se lève et le tronc se retrouve au-dessus de son point d'appui. Alors un pas complet est exécuté, la jambe droite est redevenue verticale et presque étendue, comme au départ. Il s'est passé deux demi-suspensions de la jambe gauche, une oscillation complète de la jambe droite,

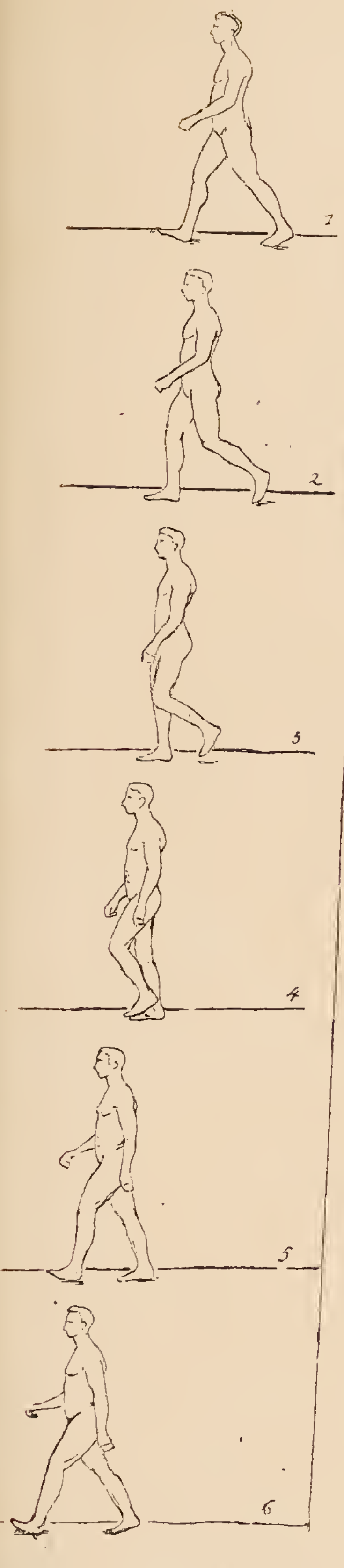
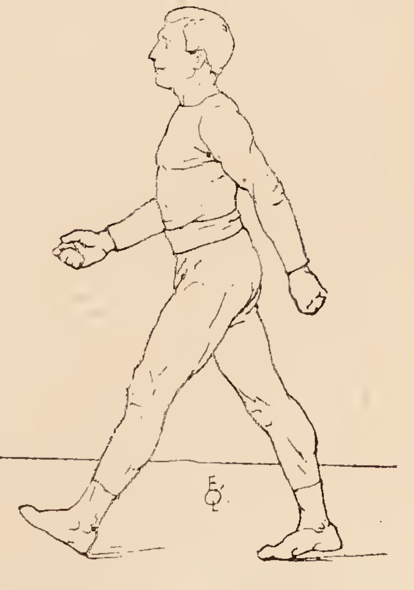


Fig. 293. — Analyse chronophotographique d'un demi-pas de marche montrant les positions relatives du bras et des jambes dans les attitudes successives.


Fig. 294. — Marcheur au moment du double appui.

un appui entier du pied gauche et deux demi-appuis du pied droit.

La durée de l'appui de chaque pied a été la même, un peu

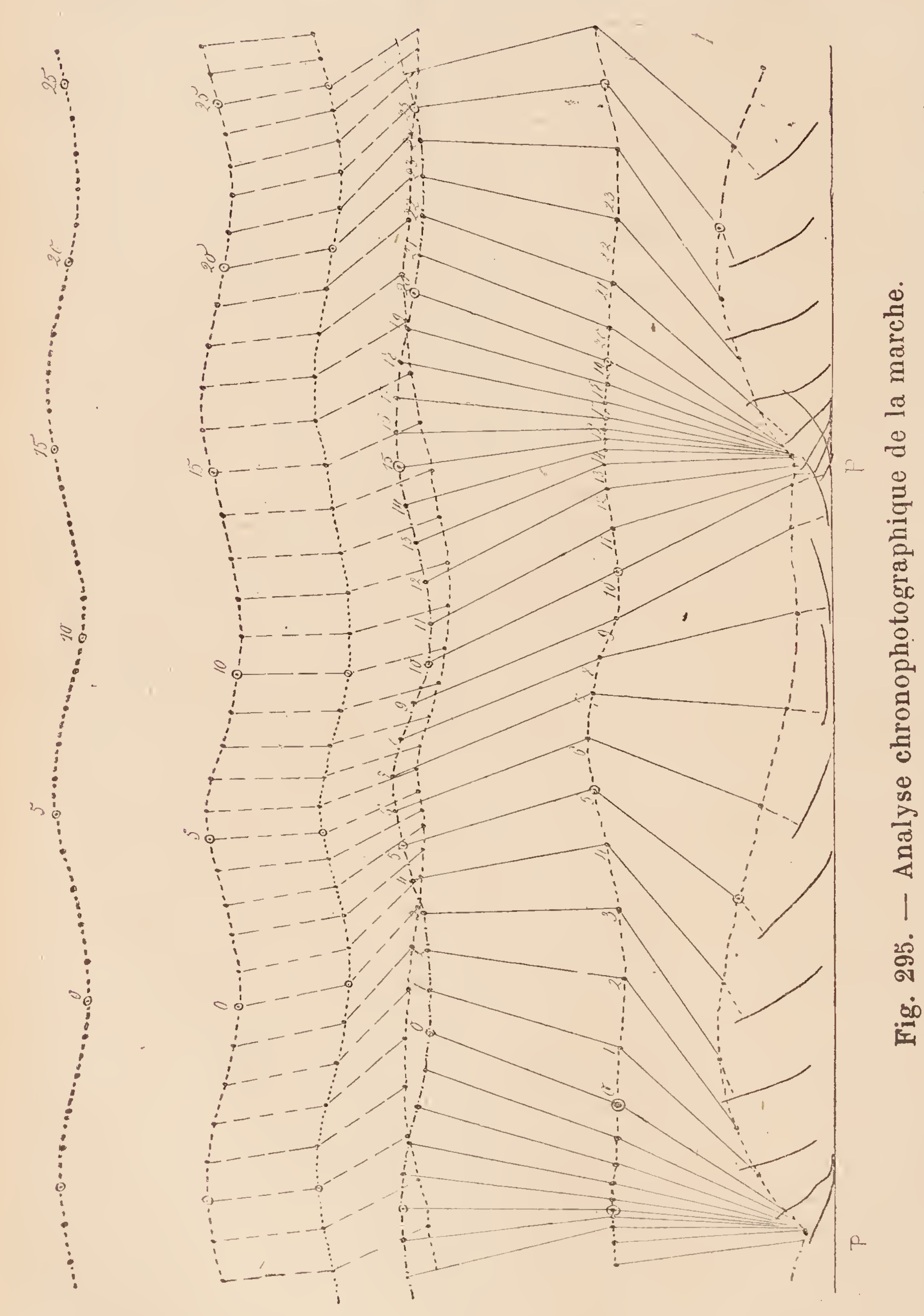


Fig. 295. — Analyse chronophotographique de la marche.

Les positions 0 0 0, 1, 2, 3, correspondent au moment du lever du pied; — 11, commencement de l'appui qui se termine entre 21 et 22. Les mêmes numéros indiquent les positions synchrones de la tête, de l'épaule, de la hanche, du genou et de la cheville. (Sujet entraîné faisant 40 à 42 kilomètres dans sa journée, vingt-quatre ans, taille $1^{m},68$, longueur du membre inférieur $0^{m},87$, cuisse $0^{m},42$, pied $26^{cm},5$, poids 58 kil. 5, capacité respiratoire 4 litres, unité de temps 1/20 de seconde.)

plus grande que celle du lever. Le tronc s'est incliné légèrement en avant et conserve une inclinaison variant avec la vitesse de l'allure, le degré de fatigue et de force musculaire.

Le pied touche le sol par le talon quelle que soit la longueur

du pas ; la jambe au moment du poser est oblique en avant et presqu'étendue ; elle fait un angle avec la verticale qui reste

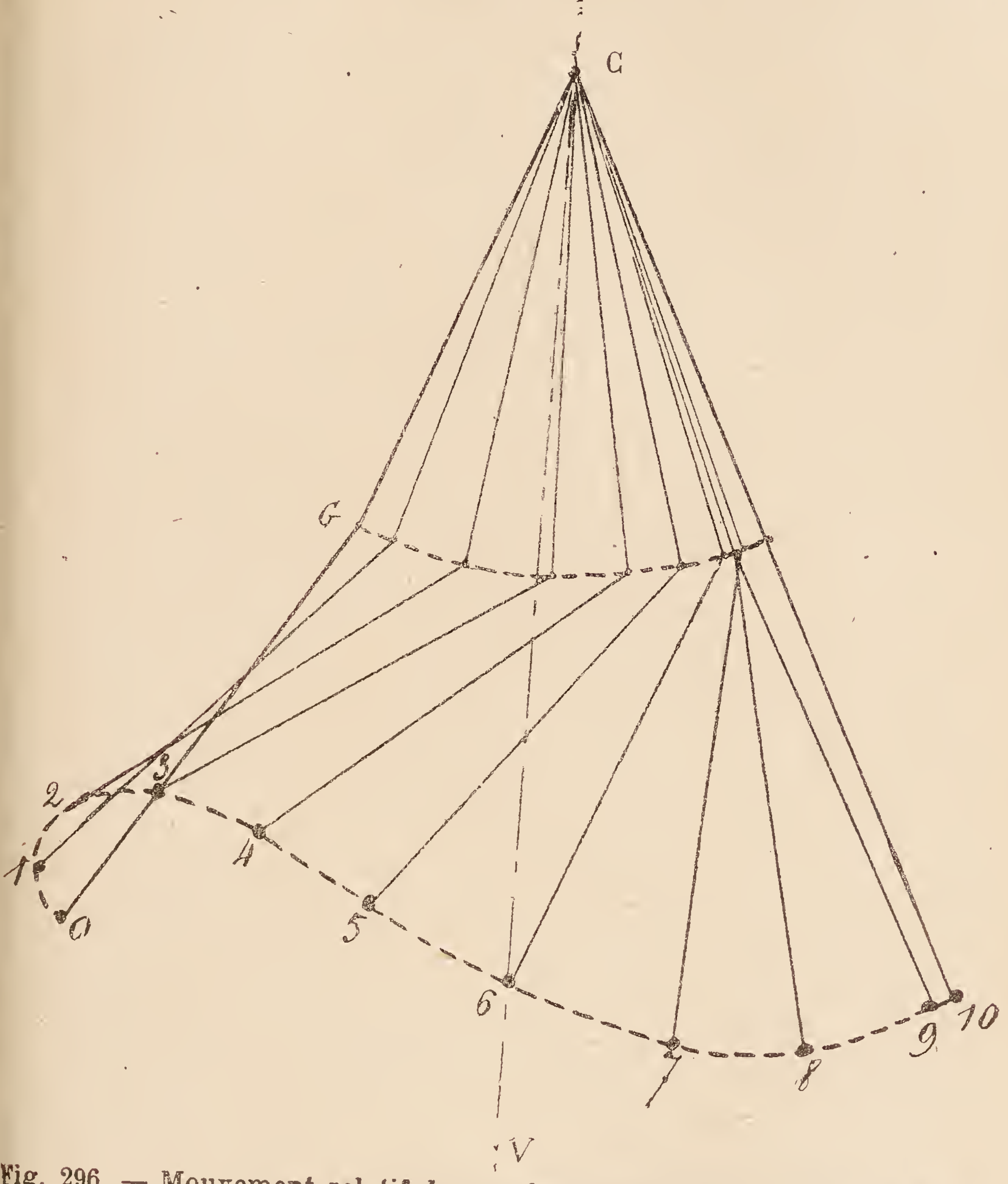


Fig. 296. — Mouvement relatif du membre inférieur par rapport au tronc dans la marche. Période de lever.

C, centre de mouvement de la hanche ; — G, genou ; — 0, 1, 2, 10, **cheville du pied. (Les** chiffres correspondent à ceux de la figure 295.)

constant pour un même sujet aux différentes vitesse de la marche puis le pied se déroulant sur le sol l'angle décrit par le rayon au moment du lever s'ajoute avec le premier pour former l'angle total de déroulement. Ce dernier vaut 50° environ et il varie avec la longueur du pas.

Le genou au moment où le rayon du membre passe par la verticale est étendu dans la marche lente, un peu fléchi dans la marche rapide.

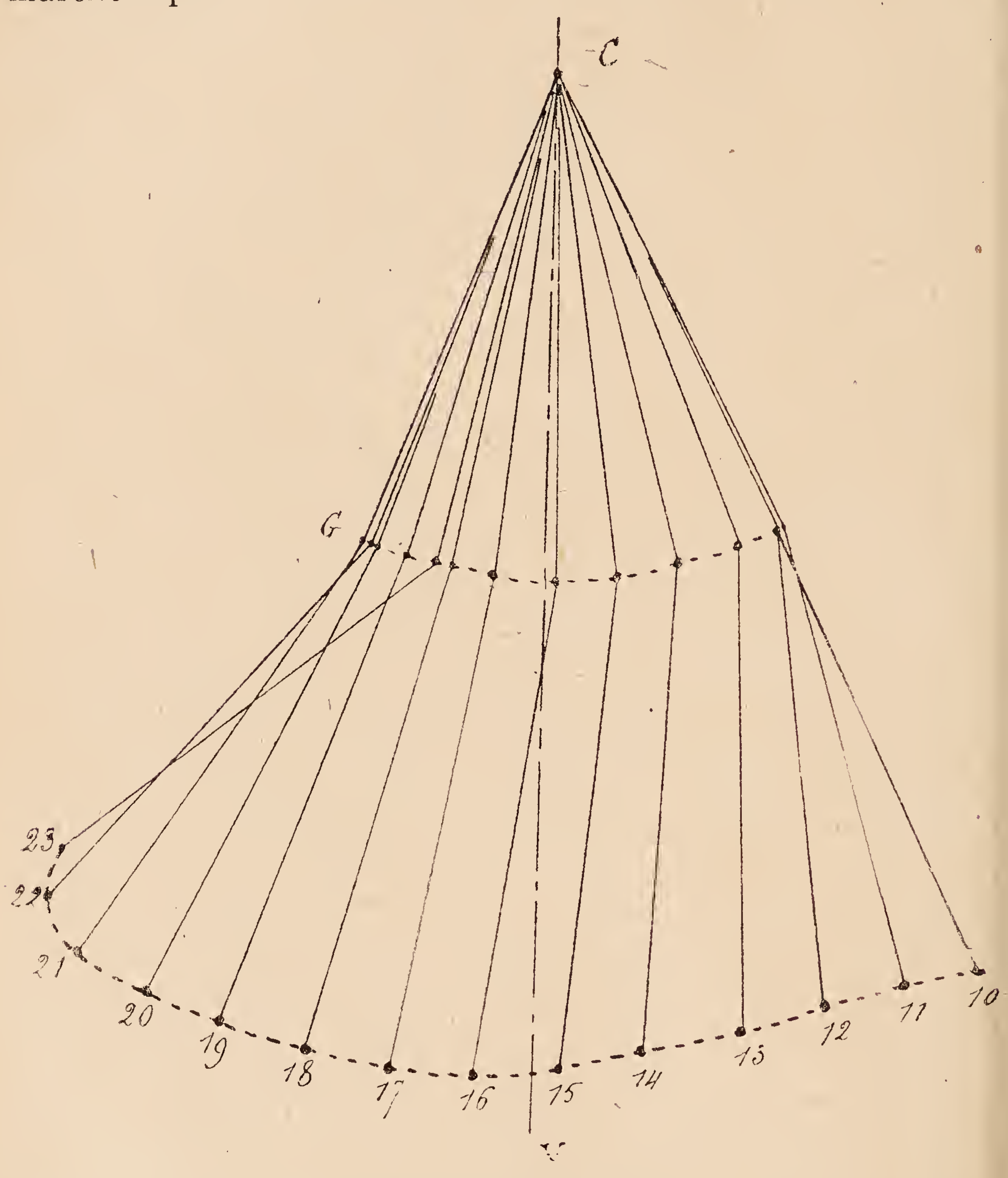


Fig. 297. — Mouvement relatif du membre inférieur par rapport au tronc pendant l'appui du pied.

(Les chiffres correspondent à ceux de la figure 295.)

Pendant la période de lever du pied, le membre oscillant est d'autant plus fléchi que le temps d'oscillation est plus bref; c'est là une condition d'économie de travail que l'on retrouve dans l'oscillation du bras, la vitesse du pied atteint son maximum au dernier tiers de la phase d'oscillation. La vitesse

moyenne du pied est supérieure au double de la vitesse de progression du corps ; en effet la durée du double appui doit se

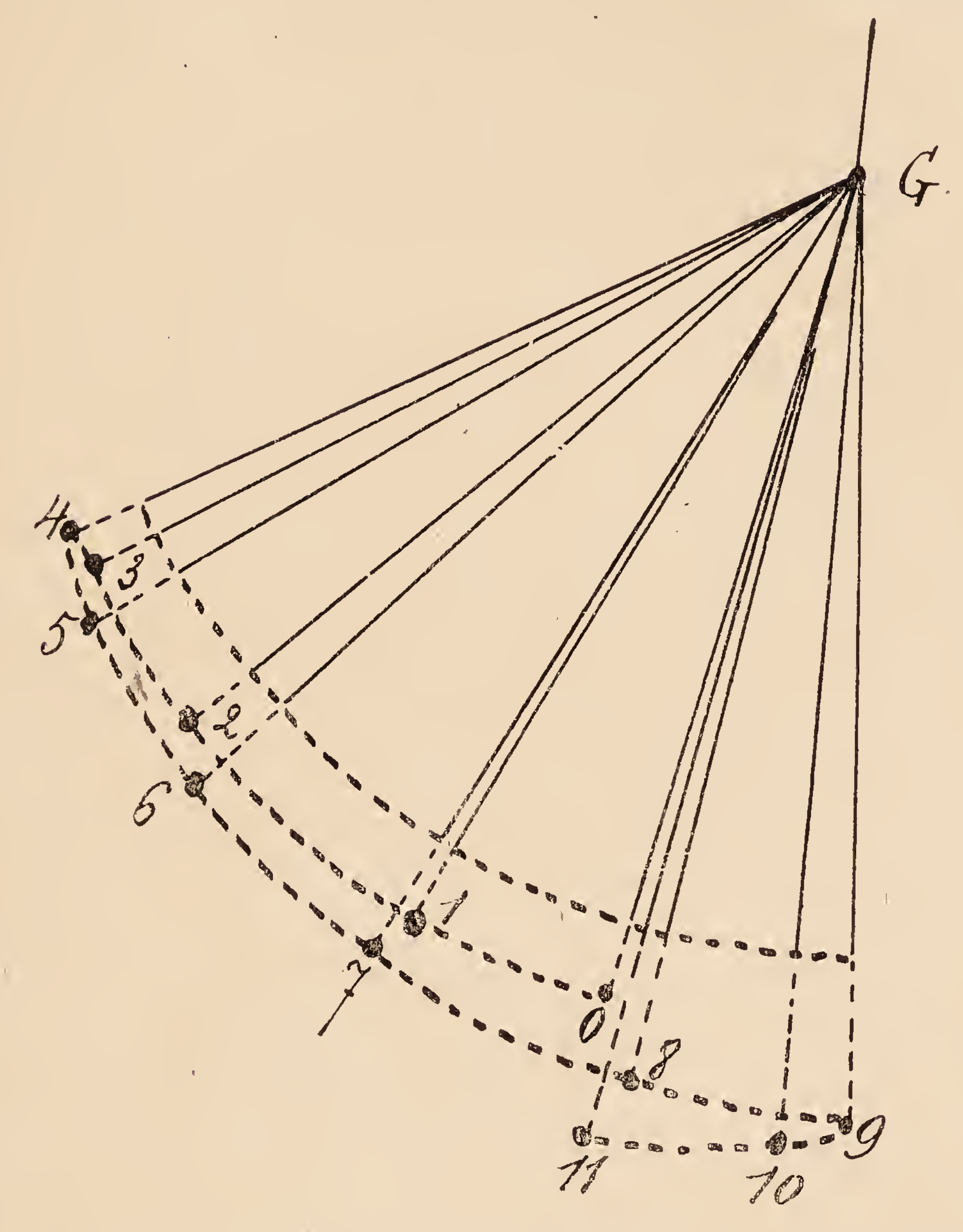


Fig. 298. — Mouvement relatif de la cuisse sur la jambe dans la marche, pendant le lever du pied.

G, centre de mouvement du genou ; — 0, 1, 2, 3, 4, 11, position de la jambe indiquant le degré de flexion et d'extension tous les 1/20 de seconde. La courbe ponctuée indique le mouvement relatif. (Les chiffres correspondent à la figure 295.)

retrancher de celle du demi-pas pour constituer la période d'oscillation (fig. 295 et suivantes)[1].

Appui du pied. *Déroulement du pied et double appui.* — Le pied touche le sol par le talon (fig. 295) et presqu'aussitôt s'applique par toute l'étendue de sa surface plantaire ; cette première phase occupe encore les trois cinquièmes de la durée

1. Demeny et Marey, Notes à l'*Académie des sciences* (1884-1886).

totale de l'appui. A partir de ce moment le talon se détache du sol et pendant la seconde phase, c'est-à-dire les deux cinquièmes

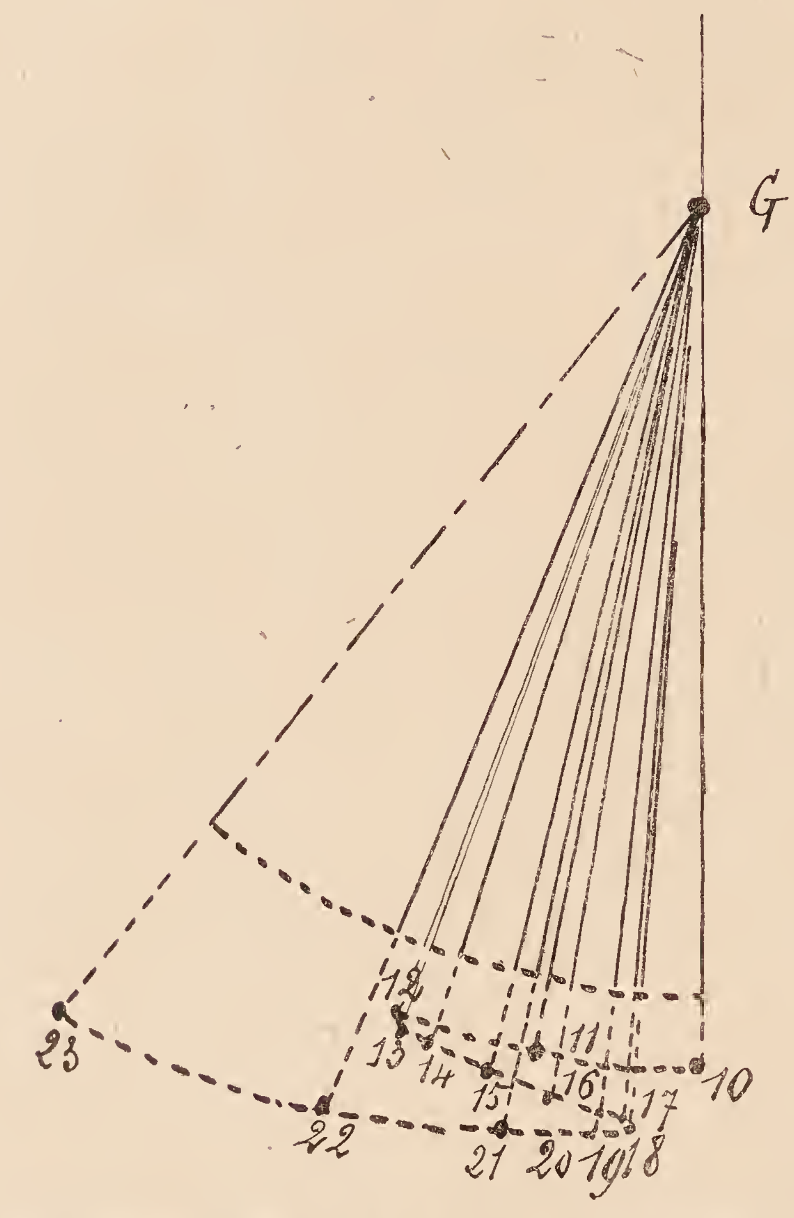


Fig. 299. — Mouvement relatif de la jambe sur la cuisse dans la marche pendant l'appui du pied.

Les numéros indiquent les positions successives de la jambe tous les 1/20 de seconde, et, par suite, le mouvement de flexion et d'extension. La courbe ponctuée rend manifeste ce mouvement. (Les chiffres correspondent à la figure 295.)

de l'appui, le pied se déroule autour de sa pointe ou pour mieux dire de l'extrémité des métatarsiens (fig. 305). La figure 308 montre la durée relative de l'appui du talon et de la pointe du pied.

Le double appui est spécial à la marche, nous en avons étudié la durée[1] en adaptant sous la semelle des plaques de métal disposées de façon à fermer le circuit électrique d'une pile

1. G. Demeny, Variations de la durée du double appui dans la marche, *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, 25 juin 1885.

portative placée dans la poche du marcheur quand le double appui avait lieu. Le contact électrique se produisait quelle que

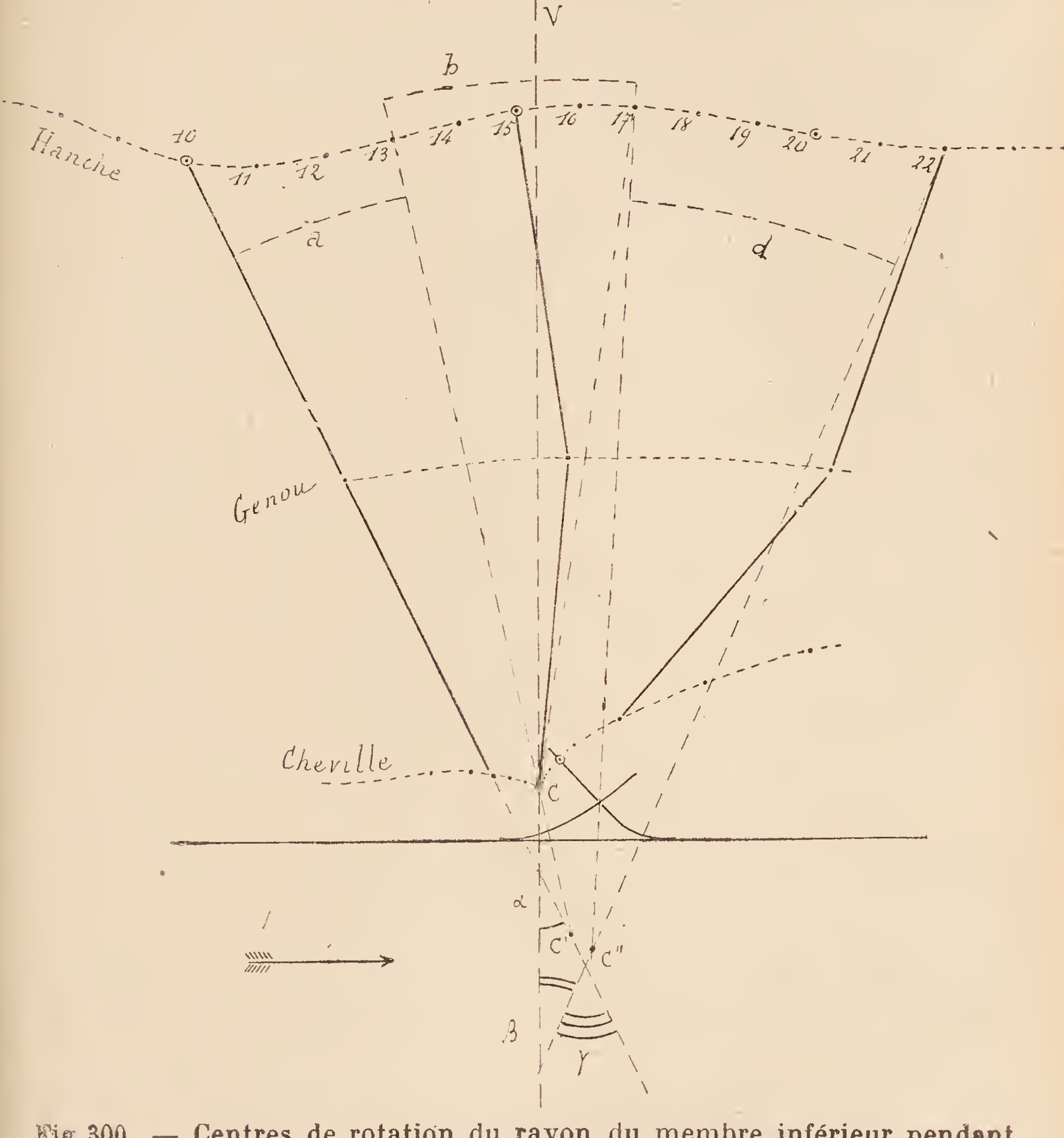


Fig.300. — Centres de rotation du rayon du membre inférieur pendant le déroulement du pied sur le sol.

Le mouvement angulaire du rayon correspond aux trois arcs *a*, *b*, *d*, décrits autour du point C' pendant le poser du talon, de la cheville C pendant le poser de la plante du pied, du point C'' pendant le déroulement du pied jusqu'à la pointe des orteils. Les angles α,β et γ sont respectivement les angles de poser, de lever et de déroulement. (Les chiffres correspondent à ceux de la figure 295.)

soit la partie, pointe ou talon qui posât sur le sol. L'inscription de la fermeture du circuit se faisait au moyen d'un signal Desprez (fig. 309). Les tracés obtenus mesurent exactement les durées du double appui et même les durées de l'appui et du lever d'un pied pour la durée d'un demi-pas (fig. 306, 307 et 310).

En faisant varier le nombre des pas de 40 à 100 par minute, j'ai pu comparer les durées du demi-pas à celles du double

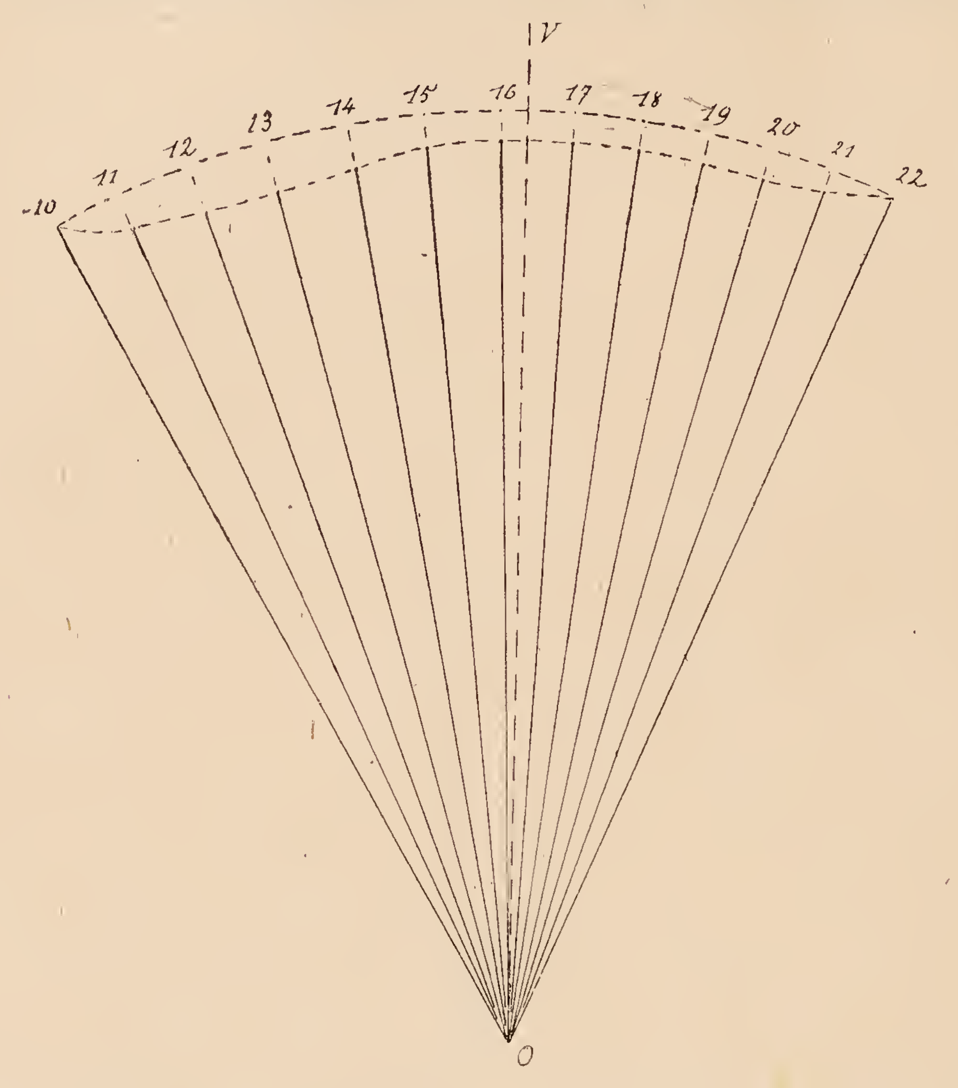


Fig. 301. — Loi de la vitesse angulaire et de l'allongement du rayon du membre inférieur pendant l'appui.

O, centre de mouvement; 10, 11, 22, arcs décrits par le rayon tous les 20e de seconde; O, V, verticale. La différence entre la courbe ponctuée représentant la trajectoire de la hanche et l'arc de courbe montre les variations de la longueur du rayon. (Les chiffres correspondent à la figure 295.)

appui correspondant (fig. 311). On voit qu'à toute allure marchée il y a un double appui des pieds, que la durée de ce double appui diminue plus vite que celle du demi-pas quand la marche s'accélère, les écarts extrêmes ont été de de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{8}$ de la durée du demi-pas ; soit en valeur absolue de $\frac{7}{40}$ à $\frac{2}{40}$ de seconde.

Dans une autre série d'expériences j'ai étudié l'influence de la charge. En augmentant graduellement cette charge de 0 kilogrammes à 40 kilogrammes le double appui augmente pour atteindre presque la moitié du demi-pas (fig. 312).

Tantôt nous imposions au marcheur une cadence de 60 pas à la minute, tantôt nous le laissions libre de régler à volonté son allure.

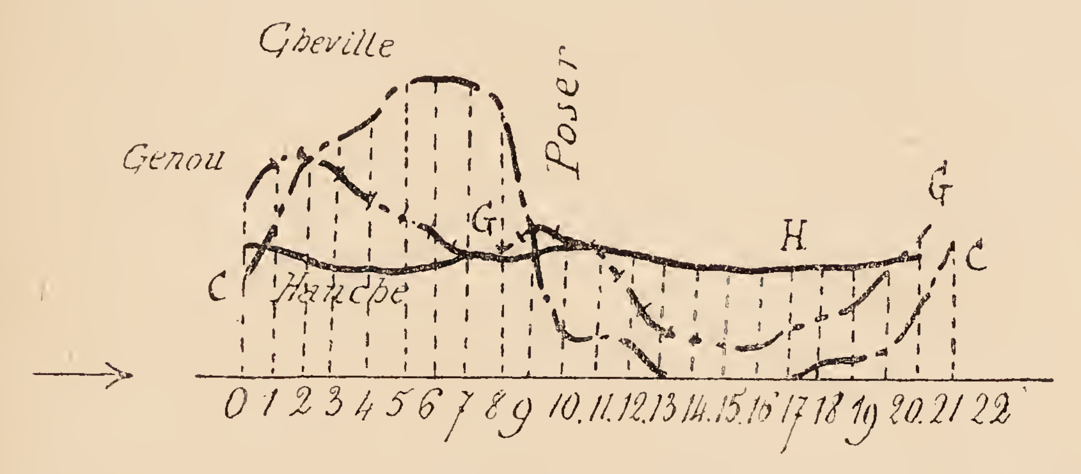


Fig. 302. — Variations de la vitesse horizontale de la hanche, du genou et de la cheville pendant un pas complet de marche ; les temps sont comptés en 20e de seconde.

(Les temps correspondent aux positions de la figure 295.)

L'allongement du double appui a atteint son maximum dans ce dernier cas.

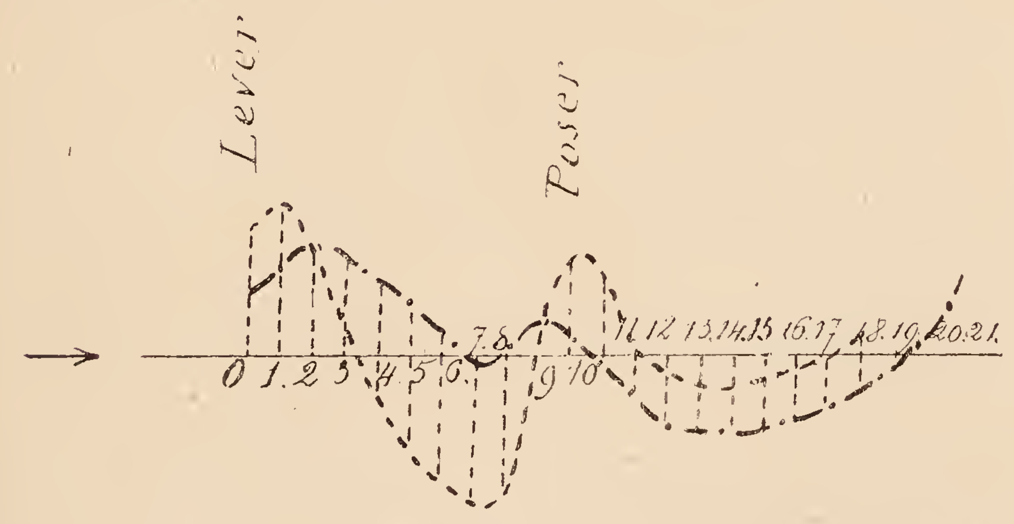


Fig. 303. — Loi de la vitesse angulaire de flexion et d'extension de la jambe sur la cuisse et de la cuisse sur le tronc dans la marche.

La courbe ponctuée correspond au mouvement de la jambe, la courbe point et barre au mouvement de la cuisse. La flexion est au-dessus de la ligne des temps, l'extension au-dessous.

La fatigue allonge la période de double appui, et cet allongement peut servir de signe objectif de la fatigue.

Influence de la chaussure. — Deux choses essentielles sont à considérer dans la chaussure : sa forme intérieure, la fidélité avec laquelle elle se moule sur le pied et en suit tous les mou-

vements et sa forme extérieure, les dimensions du talon et de la semelle (fig. 313).

L'empreinte du pied sur le sol montre la forme à donner à la chaussure. Dans un pied normal le gros orteil se trouve à peu

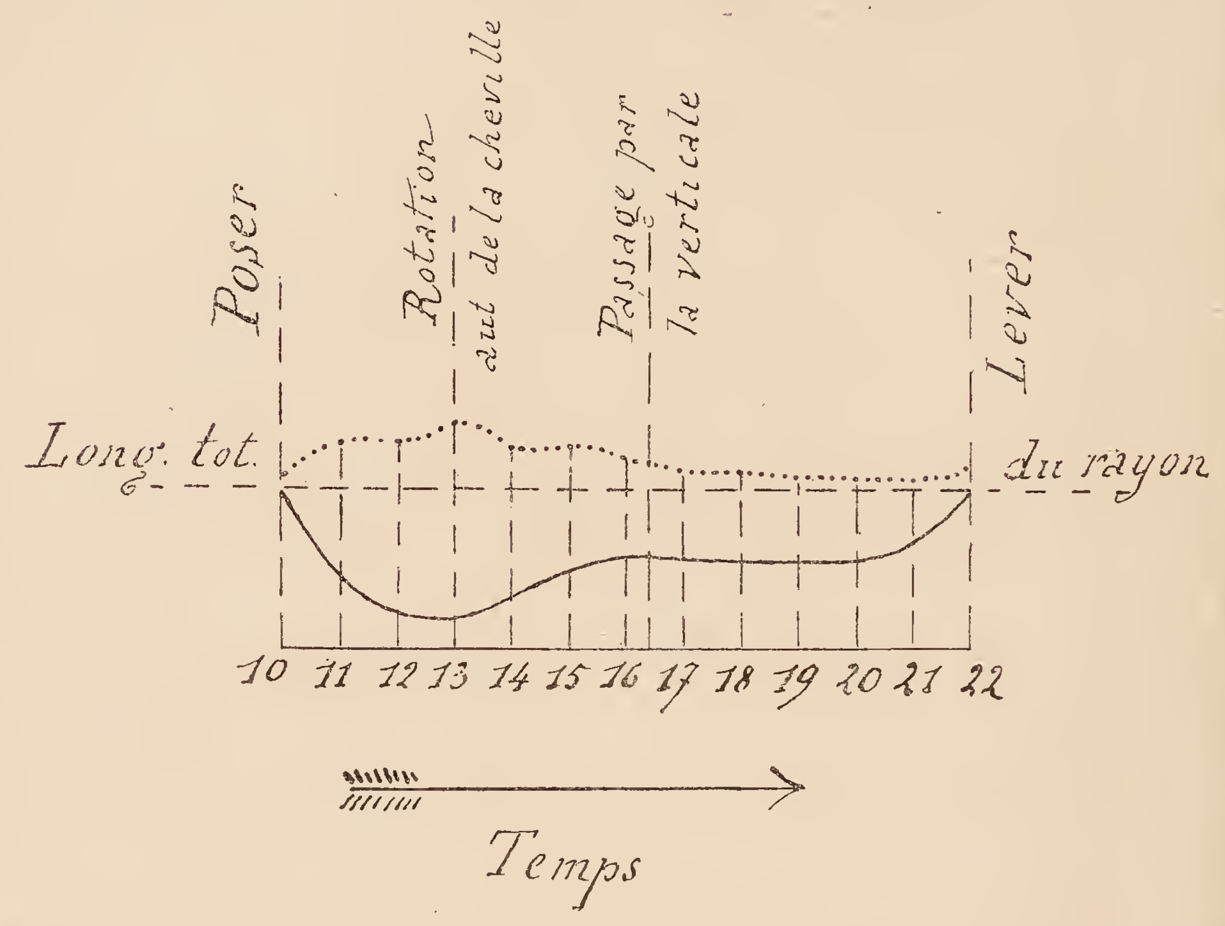


Fig. 304. — Courbe représentant la variation de vitesse angulaire et la variation de la longueur du rayon du membre inférieur pendant l'appui du pied.

Le trait ponctué correspond à la vitesse angulaire, le trait plein à la longueur du rayon. (Les chiffres correspondent aux temps et positions de la figure précédente.)

près dirigé suivant la ligne interne du pied, les orteils sont libres, étalés sur le sol, les points de contact ont lieu principalement aux métatarsiens et au talon; la plante présente une voûte ne reposant pas sur le sol. Dans le pied plat, cette voûte n'existe pas, le pied s'écrase (fig. 314) à cause de la distension des ligaments, les points de contact avec le sol sont plus nombreux, mais c'est une conformation défectueuse enlevant toute résistance au pied et incompatible avec la marche soutenue.

Les chaussures mal faites ont presque toujours le défaut de recroqueviller les orteils et de les déformer en les ramenant tous vers un axe faux passant par la pointe de la chaussure. Les

chaussures étroites et pointues sont cause de la plupart des infirmités du pied, durillons, arthrites, luxations des orteils qui infligent aux élégants des tortures inimaginables. La

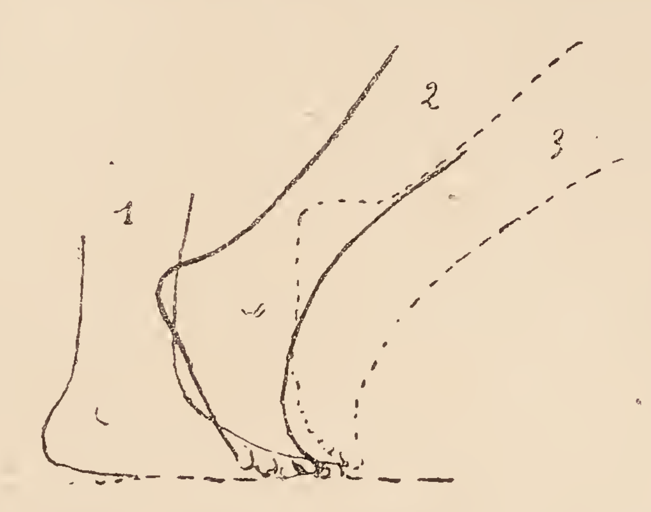


Fig. 305. — Déroulement complet du pied dans la marche.
1, lever du talon ; — 2, appui sur les orteils ; — 3, lever de la pointe.

radiographie reproduite (fig. 315) suffit pour faire comprendre l'état du pied dans ces conditions.

La hauteur du talon diminue la longueur du pas parce qu'elle

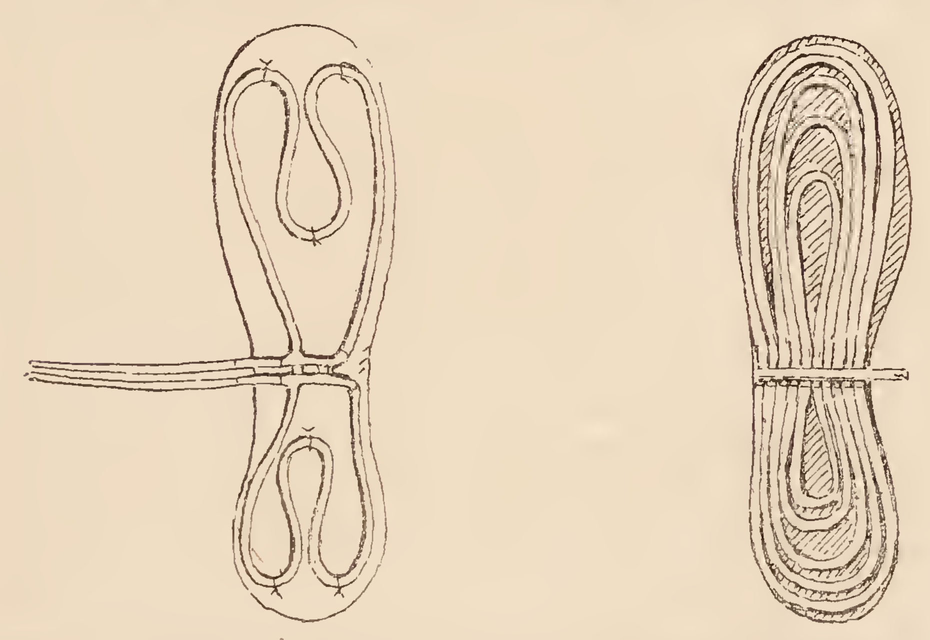


Fig. 306. — Semelles exploratrices de la pression donnant la durée de l'appui du pied et la durée relative de l'appui du talon et de la pointe.

réduit le déroulement du pied sur le sol; on voit (fig. 300, 305 et 316) la longueur du pas se composer de la longueur du pied augmenté de l'écartement des pieds; plus le talon est élevé, moins la projection horizontale du pied sur le sol est grande, moins le déroulement est grand; le minimum de déroulement

correspondrait au pilon d'une jambe de bois, le maximum au pied complètement à plat. Le marcheur muni de chaussures à hauts talons repose en réalité sur la pointe des pieds, le poids du corps comprime douloureusement les orteils dans l'extrémité de la chaussure et le fait de se tenir sur la pointe des pieds provoque nécessairement les flexions de la jambe et de la cuisse; la longueur du pas diminue encore parce que la jambe

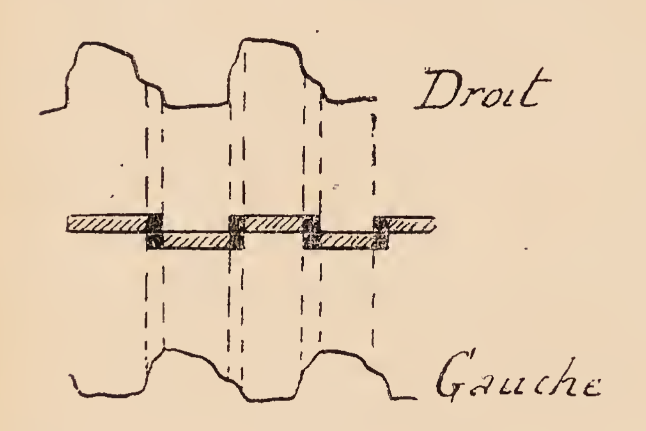


Fig. 307. — Inscription des appuis successifs du pied droit et du pied gauche pendant la marche, avec la notation des appuis et levers montrant la valeur relative du double appui.

Talon
Pointe

Fig. 308. — Inscription de la pression du pied sur le sol pendant la marche au moyen d'une semelle exploratrice donnant la durée relative de l'appui du talon et de la pointe.

ne s'étend pas au moment du poser (fig. 300). Ainsi tout l'équilibre du tronc est compromis et une ensellure lombaire en est la conséquence.

La longueur de la semelle augmente la longueur du déroulement du pied sur le sol et par suite la longueur du pas ; mais il ne faut rien exagérer. Une semelle longue et rigide semblerait l'idéal pour allonger le pas, cela est vrai, en théorie, mais elle exige une dépense considérable d'effort et devient extrêmement fatigante. Une semelle trop souple permettant l'extension complète des orteils raccourcit visiblement la longueur du pas (fig. 317 et 318).

Une bonne chaussure ne peut être faite que sur un moulage du pied ou sur une vieille chaussure qui en a pris exactement la forme. Les durillons se produisent aux endroits où la chaussure frotte sur le pied ; on ne les évitera pas avec une chaussure trop large; il faut au contraire pour cela une chaussure ajustée.

MOUVEMENTS DU TRONC. — La périodicité et l'obliquité de l'im-

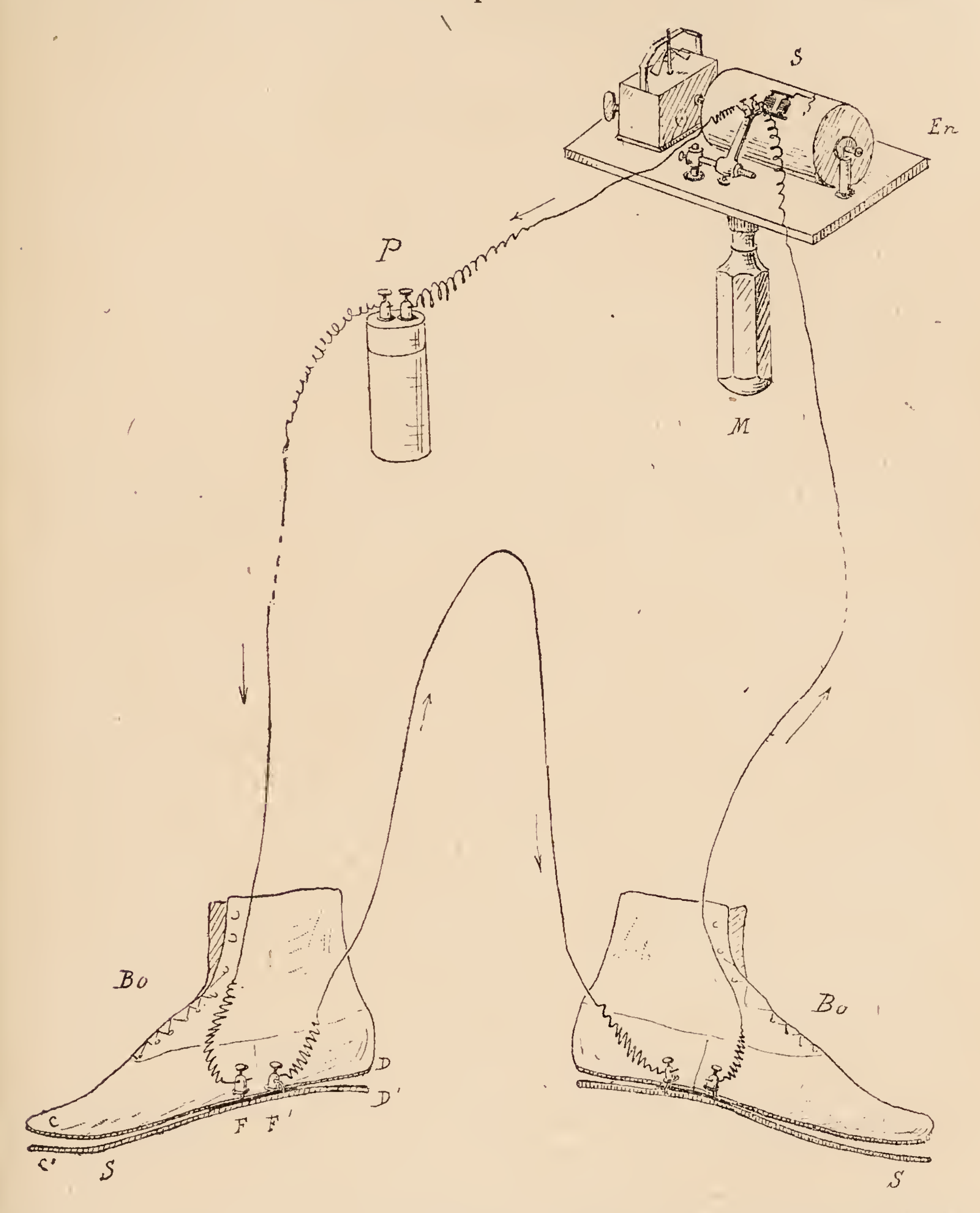


Fig. 309. — Dispositif pour mesurer la durée du double appui dans la marche (DEMENY).

Bo, bottines à semelles S métalliques venant en contact à la pointe CC' et au talon DD' pendant l'appui sur le sol. Un circuit électrique PFF' est fermé pendant le double appui et un signal S inscrit la durée de la fermeture sur un cylindre enregistreur En que l'on tient à la main par une poignée M.

pulsion de la jambe communiquent au tronc un mouvement complexe que l'on peut diviser en oscillations verticales, oscillations latérales et torsions.

OSCILLATIONS VERTICALES DU TRONC. — Les oscillations verticales

tiennent à l'angle de déroulement du membre inférieur. La trajectoire de la hanche serait un arc de circonférence si celui-

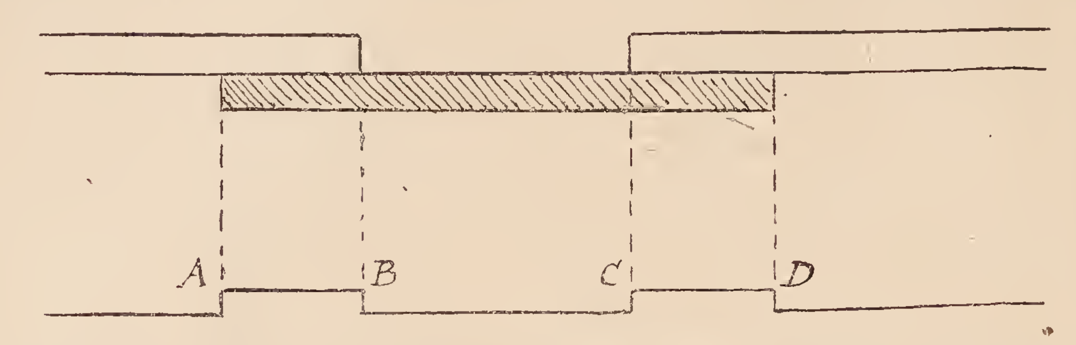


Fig. 310. — Tracé et notation du double appui dans la marche.
AB, CD, double appui du pied.

là était rigide, mais le déroulement du pied et l'extension de la jambe allongent le rayon de ce cercle à chaque instant et

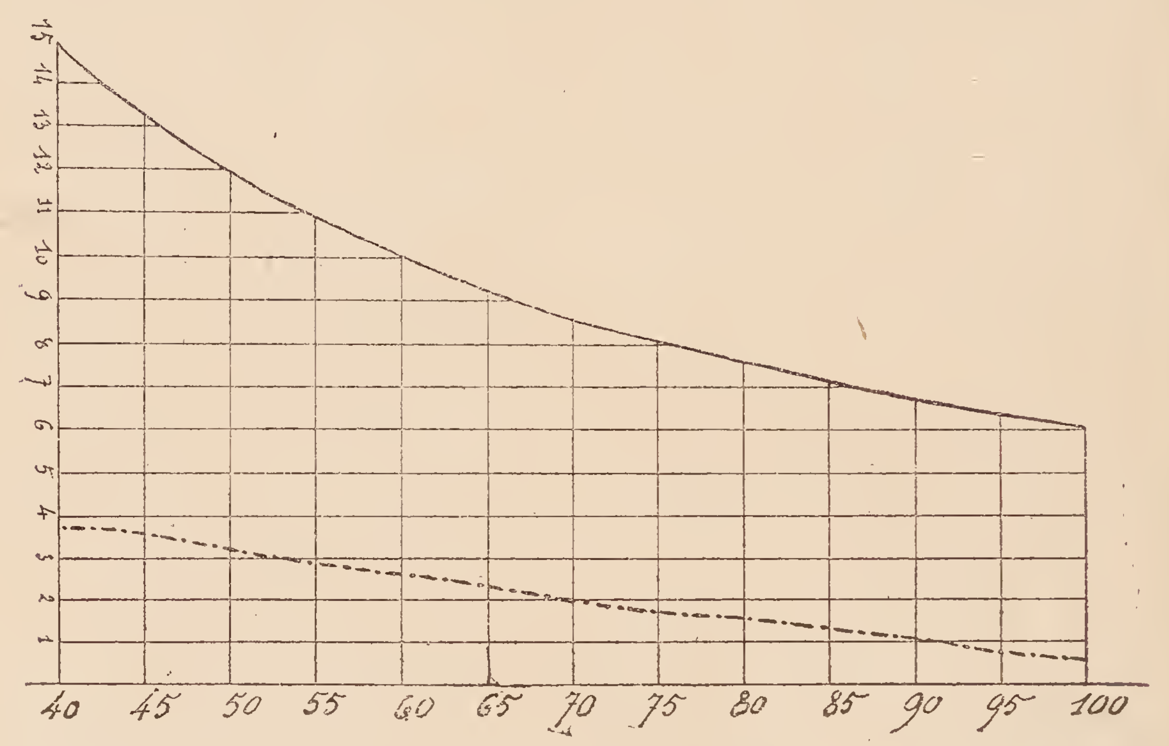


Fig. 311. — Grandeur comparée de la durée du demi-pas et de la durée du double appui dans la marche.

Les ordonnées indiquent les durées en vingtièmes de seconde. Les cadences sont portées en abscisses de 5 en 5 pas à la minute (Demeny).

déplacent le centre de rotation; la trajectoire de la hanche prend alors une forme plus allongée (fig. 301, 304 et 319).

Le tronc repose tantôt sur une jambe étendue verticalement, tantôt sur les deux membres obliques, il y a donc un minimum d'abaissement au commencement de l'appui du pied et un maximum d'élévation au milieu de l'appui. Pendant un pas complet, il y a deux minima et deux maxima ou deux oscilla-

tions correspondant à deux doubles appuis et au milieu de deux appuis simples.

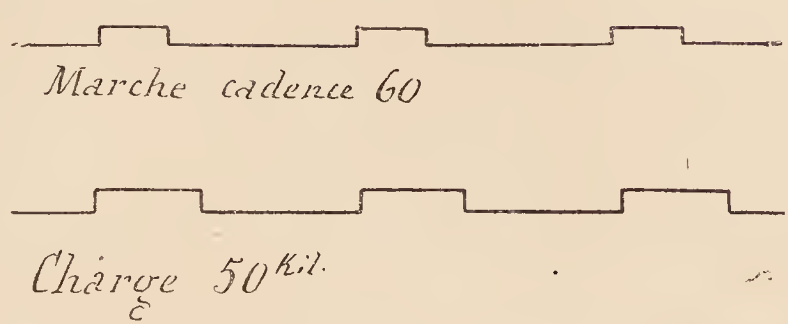


Fig. 312. — Augmentation de la durée du double appui du pied dans la marche avec une charge de 50 kilog.

On peut comparer les longueurs des tracés dans les deux cas.

Ces oscillations sont très visibles sur un marcheur dont la tête dépasse un peu la crête d'un mur horizontal; on voit la tête



Fig. 313. — Forme de l'empreinte d'un pied normal; le gros orteil dirigé suivant la ligne VX, et pied déformé par la chaussure, l'orteil dévié vers l'axe de la chaussure AB.



Fig. 314. — Empreintes d'un pied normal avec la voûte plantaire et d'un pied plat (figure de gauche) qui s'écrase sur le sol.

disparaître à chaque abaissement et reparaître ensuite au maximum d'élévation.

Elles sont amplifiées si l'on porte sur l'épaule une longue tige élastique de fer ou de bois et la marche devient alors extrê-

mement pénible à cause de la période d'oscillation propre de cette tige. On a pour la même raison autant de difficulté à



Fig. 315. — Déformations des orteils par la chaussure étroite et pointue. Pied déformé comparé au pied normal. (Photographie par les rayons Rœntgen.)

transporter un vase plein d'eau d'une certaine grandeur sans en épancher le contenu.

Pour mesurer directement les oscillations

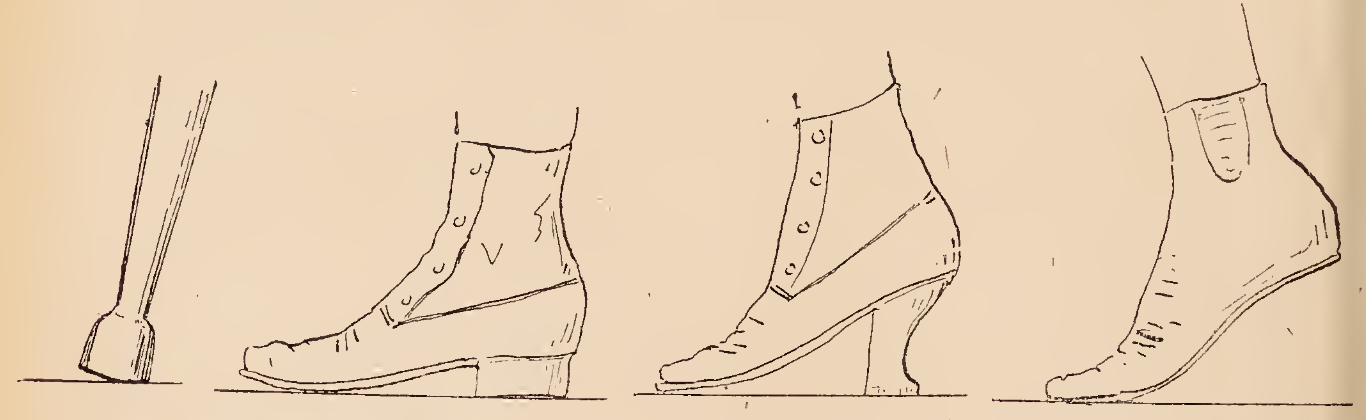


Fig. 316. — Déroulement du pied sur le sol suivant les surfaces d'appui : jambe de bois, talon bas, talon haut, marche sur la pointe des pieds.

verticales, je me suis placé dans un chariot que j'avais construit spécialement à cet effet. Roulant sur un terrain horizontal et accompagnant le corps sans en gêner les mouvements, il portait un cylindre enregistreur destiné à inscrire en vraie grandeur les oscillations du tronc à la ceinture. La figure 320 montre cette disposition et le tracé obtenu (fig. 321), le tableau

(fig. 322) sont le résumé des expériences dans la marche à différents rythmes. On voit les oscillations verticales varier de 4 à

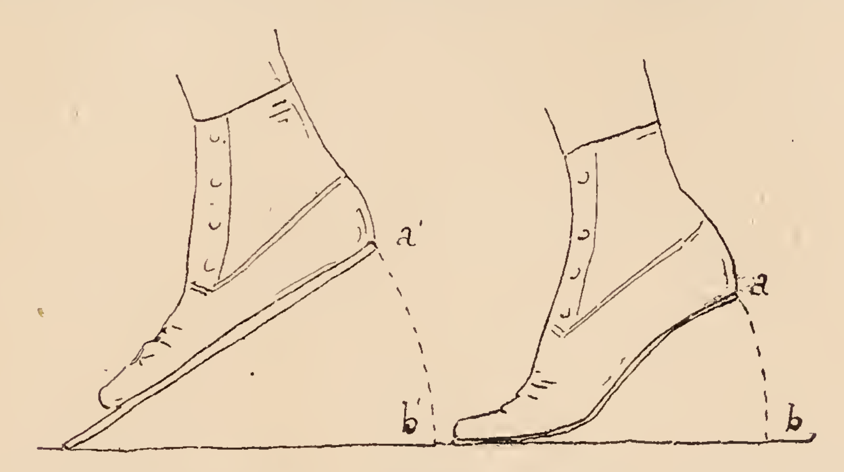


Fig. 317. — Destinée à montrer l'influence de la rigidité de la semelle sur la longueur du pas.

Pour une même inclinaison de la jambe le déroulement du pied est plus complet avec une semelle rigide. *ab*, *ab'*, arcs correspondants décrits par le talon.

6 centimètres pour une cadence variant de 40 à 70 pas à la minute.



Fig. 318. — Chaussure destinée à faire des expériences sur l'influence de la hauteur du talon et de la longueur de la semelle sur la longueur du pas.

Sinuosités de la trajectoire de la tête et du sacrum. — *Forme de la trajectoire des points principaux.* La tête décrit pendant l'appui du pied une courbe à convexité supérieure mais cette trajectoire n'est pas plane, elle présente des sinuosités latérales. C'est une courbe gauche, on ne peut la représenter par le dessin que de deux façons, par ses deux projections horizontale et verticale (fig. 323) ou en perspective (fig. 324)[1].

1. Marey. Images stéréoscopiques des trajectoires décrites par un point du corps dans les diverses allures : — *Comptes Rendus, Académie des sciences*, juin 1885. Marey et Demeny, Mouvements du tronc dans la marche et la course, *ibid.*, 3 oct. 1887.

Cette trajectoire provient des mouvements propres du tronc à savoir : des torsions suivant un axe vertical, des torsions

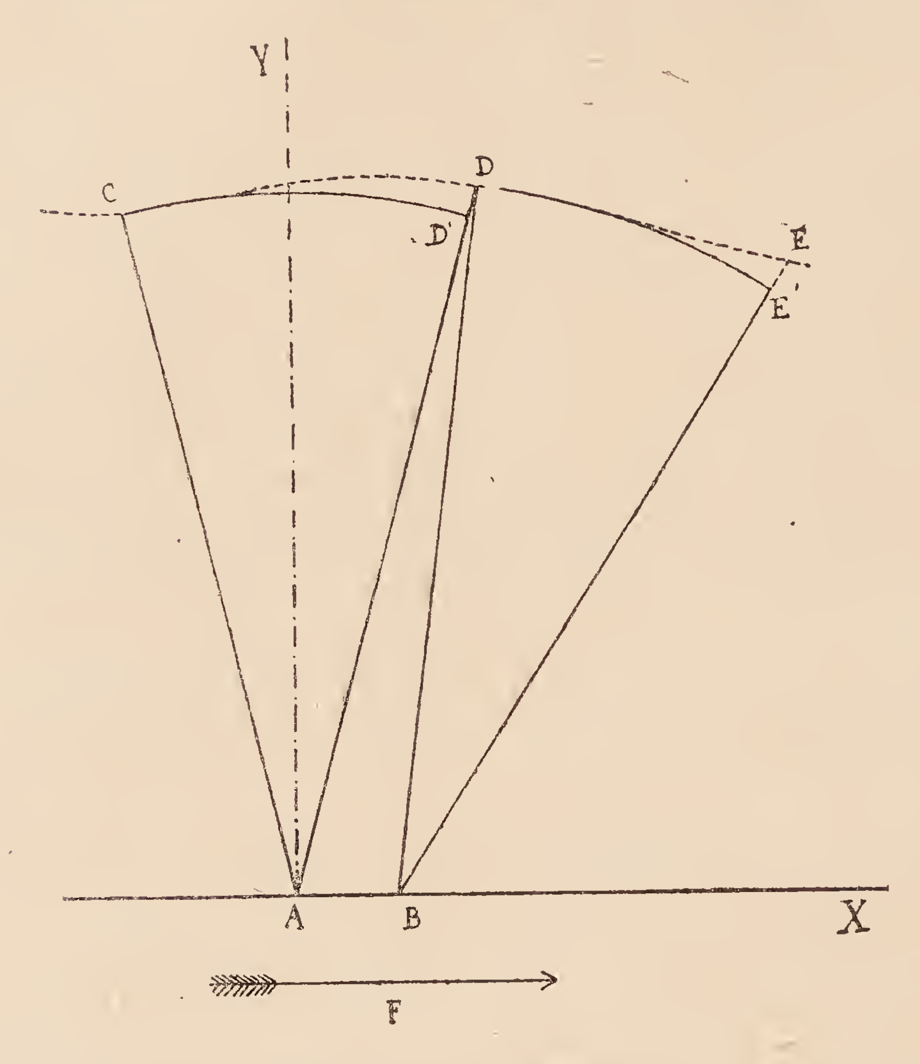


Fig. 319. — On voit la trajectoire de la hanche dans la marche C D E, engendrée par la rotation du rayon du membre inférieur autour des centres A et B (poser du talon et de la pointe) combinée avec l'allongement de ce rayon D' D et E' E. CD' et D E' représentent les arcs de cercle décrits par la hanche s'il n'y avait pas allongement. X, horizontale ; A Y, verticale. (Voir fig. 300, 301 et 333).

suivant un axe horizontal et des balancements d'avant en arrière et latéralement.

Mouvements de torsion du tronc. — Ces mouvements sont déjà visibles sur des images photographiques successives prises d'en haut. Pour les obtenir nous avions installé à la station physiologique une chambre noire chronophotographique à 20 mètres au-dessus d'une piste noircie, mais pour aller plus loin dans ces recherches nous nous sommes servi du procédé des photographies partielles imaginé par M. Marey, procédé qui consiste à revêtir de noir le sujet en expérience et à rendre très

apparents au moyen de boutons ou de tiges brillantes les points dont on veut analyser le mouvement (fig. 325).

En fixant ainsi des baguettes blanches indiquant l'axe des épaules, la ligne des têtes fémorales et la ligne de la colonne

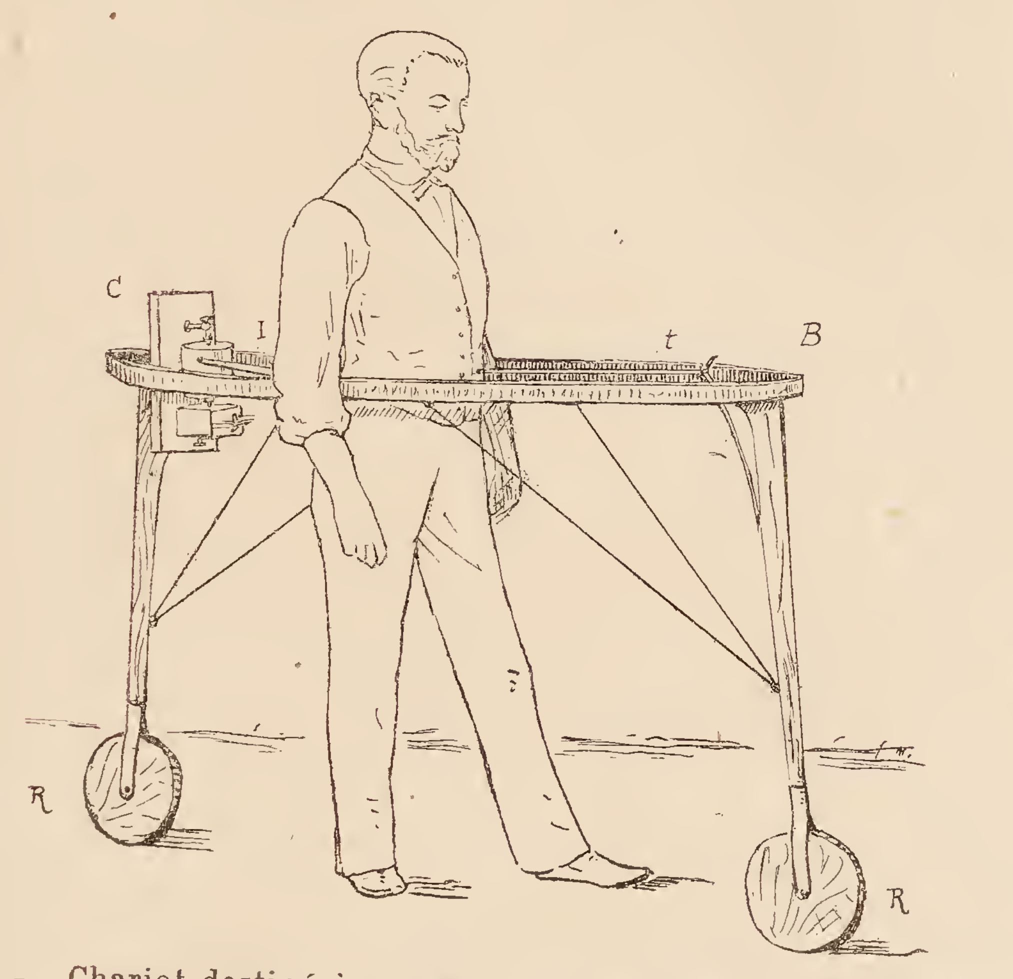


Fig. 320. — Chariot destiné à mesurer en vraie grandeur les oscillations verticales du corps pendant la marche (Demeny).

vertébrale, nous avons obtenu des figures où la torsion des épaules et le balancement du tronc sont manifestés (fig. 326, 327 et 328).

Voici les résultats principaux de ces expériences :

Dans la marche, l'écart latéral maximum a lieu pendant l'appui d'un pied, il coïncide avec le maximum d'élévation de la tête au-dessus du plan horizontal et avec le minimum de la vitesse horizontale du tronc. La valeur est en moyenne de $2^{cm}.5$ à droite et à gauche de la ligne de progression. Cet écart varie dans le même sens que l'écartement des empreintes des talons ; il lui est sensiblement égal et diminue lorsque la longueur du pas augmente. L'écart latéral est nul pendant le double appui ; à ce moment la trajectoire du sommet de la

tête se projette horizontalement sur la ligne moyenne de progression.

La hanche est portée en avant en même temps que le membre inférieur oscillant tandis que la hanche opposée correspondant au membre à l'appui reste en arrière.

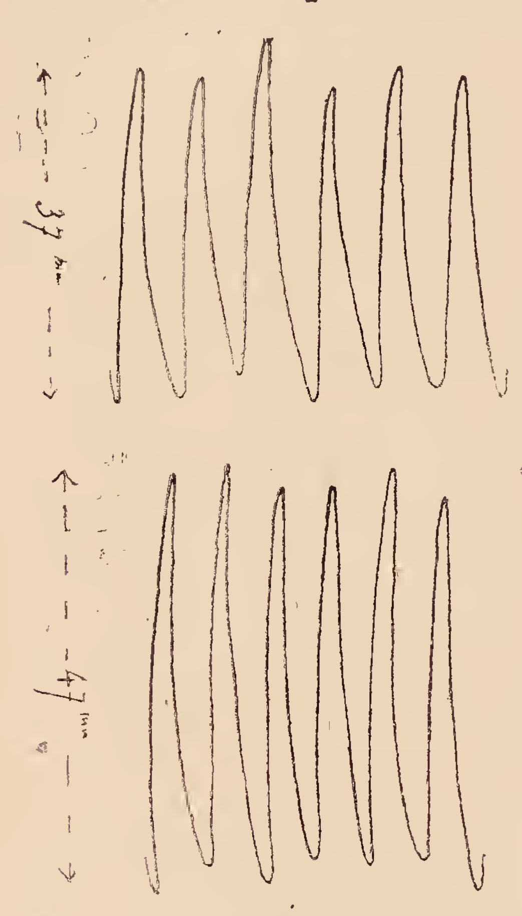


Fig. 321. — Réactions verticales du corps dans la marche, obtenues directement au moyen de l'appareil ci-dessus à la cadence 55 et 65 pas à la minute.

Il en résulte une torsion dont le maximum 9° environ, a lieu au moment du double appui et coïncide avec le minimum d'élévation du corps au-dessus du sol. La torsion du bassin est nulle pendant l'appui unipédal et au moment d'élévation et d'écart latéral du tronc (fig. 323).

Le mouvement de l'axe des épaules se fait en sens inverse de celui de l'axe du bassin. Il est de même sens que la projection des membres supérieurs. La torsion est maximum en même temps que la torsion inverse de la ligne des hanches. Sa valeur absolue est plus grande, elle est de 12° environ dans la marche au moment du double appui.

La torsion de l'axe des épaules est nulle en même temps que celle du bassin quand les bras passent par la verticale ; elle augmente avec la vitesse de progression.

La ligne des hanches s'abaisse du côté de la hanche suspendue et ce mouvement subsiste à toute allure marchée et courue. La ligne des épaules se relève du côté de la hanche suspendue et les deux mouvements sont synchrones. La torsion des épaules est plus faible dans la course que dans la marche et devient presque nulle dans une course rapide comme nous le verrons plus loin.

Inclinaison du corps. — Le corps s'incline en avant pendant la première moitié de l'appui et en arrière pendant la seconde moitié.

Ce mouvement est insensible dans la marche, plus accentué dans la course, il s'exagère avec la longueur du pas, mais n'excède pas 5 degrés dans les allures ordinaires.

Dans la marche normale comme dans la course modérée les

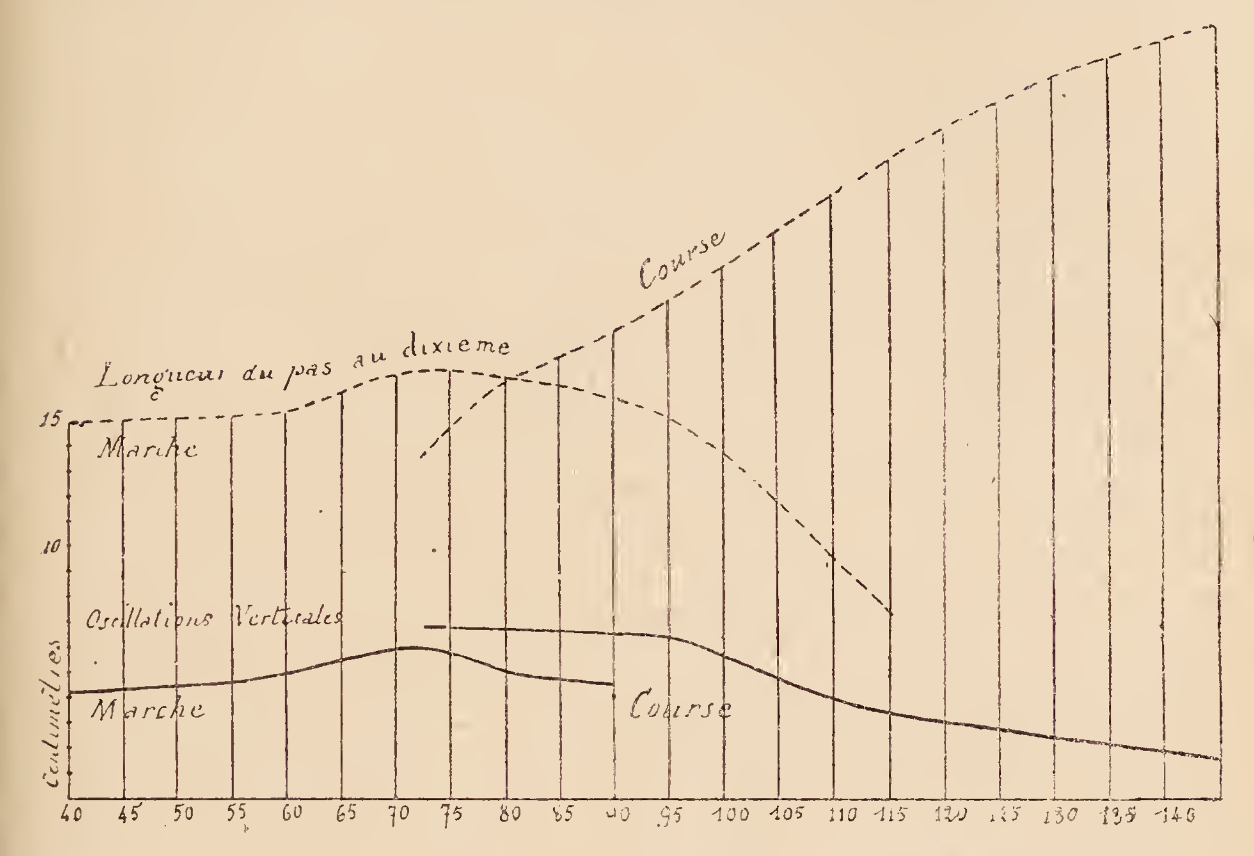


Fig. 322. — Variation des oscillations verticales de la tête dans la marche et la course à des cadences croissant de 40 à 140 pas à la minute. Comparaison de la courbe des oscillations à celle des longueurs de pas.

mouvements latéraux du tronc sont des mouvements de translation dans lesquels l'axe du tronc reste parallèle à lui-même et se transporte latéralement à chaque appui du pied d'une quantité indiquée dans la projection horizontale du sommet de la tête (fig. 326). Ce balancement a pour raison l'écartement des empreintes des pieds et se combine avec le mouvement d'inclinaison du tronc en avant et en arrière; la figure 328 est la photographie en perspective du mouvement latéral et d'élévation de la baguette fixée dans l'axe du dos du marcheur.

Différences entre les trajectoires de la tête de l'épaule et de la hanche. — Les remarques précédentes nous expliquent les différences entre les trajectoires de la tête de l'épaule et de la hanche d'un marcheur. Nous avons superposé les portions correspondantes de ces trajectoires en projection verticale. Nous

avons fait coïncider les images n° 6 qui correspondent à la torsion nulle du tronc ainsi que les horizontales menées par les points correspondants.

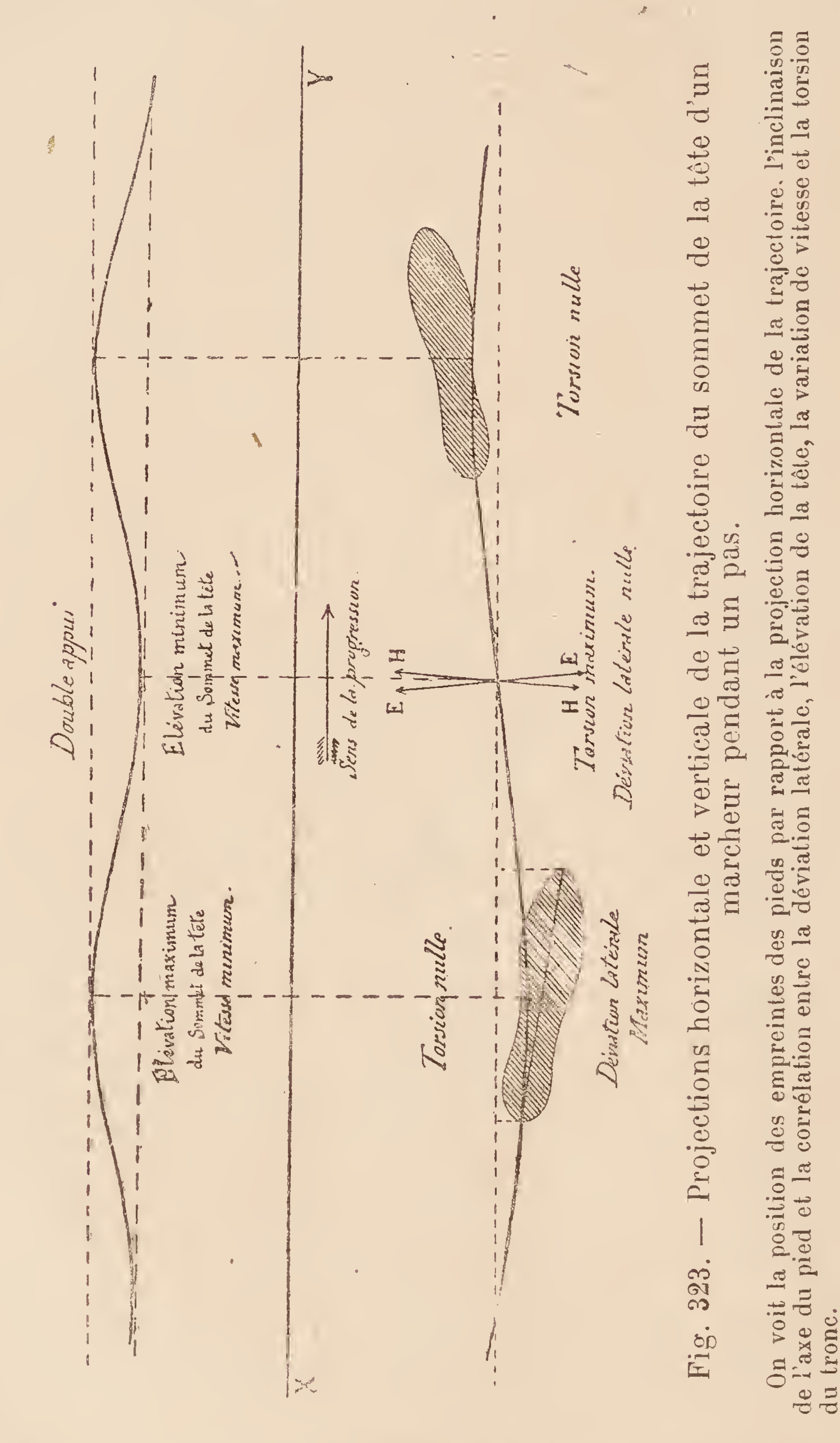


Fig. 323. — Projections horizontale et verticale de la trajectoire du sommet de la tête d'un marcheur pendant un pas.

On voit la position des empreintes des pieds par rapport à la projection horizontale de la trajectoire, l'inclinaison de l'axe du pied et la corrélation entre la déviation latérale, l'élévation de la tête, la variation de vitesse et la torsion du tronc.

On voit que l'épaule (fig. 329) est toujours en avant de la tête quand la hanche est en arrière, et inversement ; en outre que le point du milieu de la ligne qui joint l'épaule à la hanche a un mouvement presque identique à celui du sommet de la tête. Ce dernier point n'est en effet influencé par aucun des mouve-

ments de torsion du tronc qui modifient la trajectoire de l'épaule et de la hanche.

Le mouvement de balancement d'avant en arrière est assez faible pour qu'on puisse considérer le mouvement du sommet de la tête comme se rapprochant le plus de celui du centre de gravité.

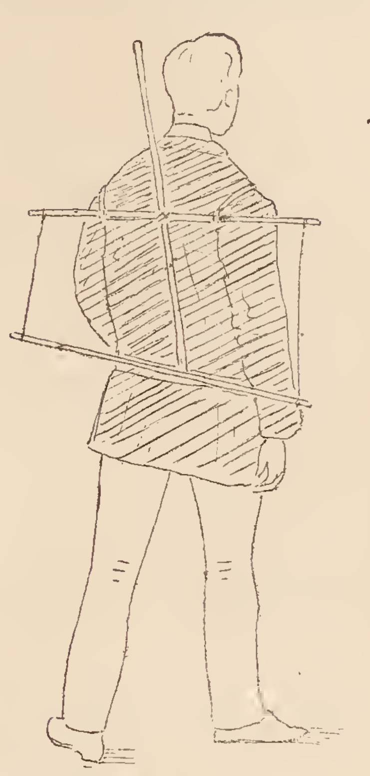


Fig. 325. — Sujet en expérience portant dans le dos des baguettes blanches indiquant l'axe du rachis et les axes des épaules et des hanches. Photographies partielles des mouvements du tronc (MAREY et DEMENY).

Néanmoins, le centre de gravité change dans le corps à chaque attitude et nous avons vu comment, par une détermination expérimentale directe on pouvait en connaître le déplacement ce qui permet de corriger la trajectoire du sommet de la tête et la rapprocher autant que possible de celle du centre de gravité.

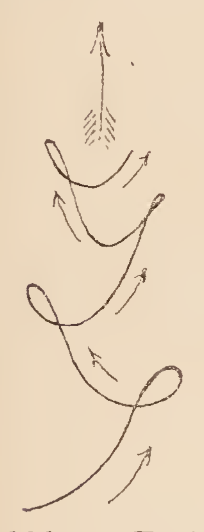


Fig. 324. — Trajectoire décrite dans l'espace par le pubis d'un marcheur ; les flèches indiquent le sens du chemin parcouru.

OSCILLATIONS LATÉRALES. — Les oscillations latérales du tronc viennent de la substitution d'un membre à l'autre comme colonne de soutien ; au moment du lever d'un pied le tronc ne repose plus que sur une tête fémorale, il tend à tomber du côté du membre levé, l'action musculaire rétablit en partie l'équilibre en attirant le centre de gravité du tronc vers la base de sustentation.

Plus la distance entre l'écartement des pieds ou l'écartement des cavités cotyloïdes sera grande, plus les oscillations latérales seront considérables. Ainsi plus l'allure est rapide, plus on tend instinctivement à rapprocher les talons de la ligne moyenne du chemin parcouru pour diminuer les oscillations latérales et à fermer l'angle des pieds. Les sujets à jambes courtes et à bassin large ne peuvent les éviter et ont une démarche caractéristique fortement exagérée chez le canard. La femme à

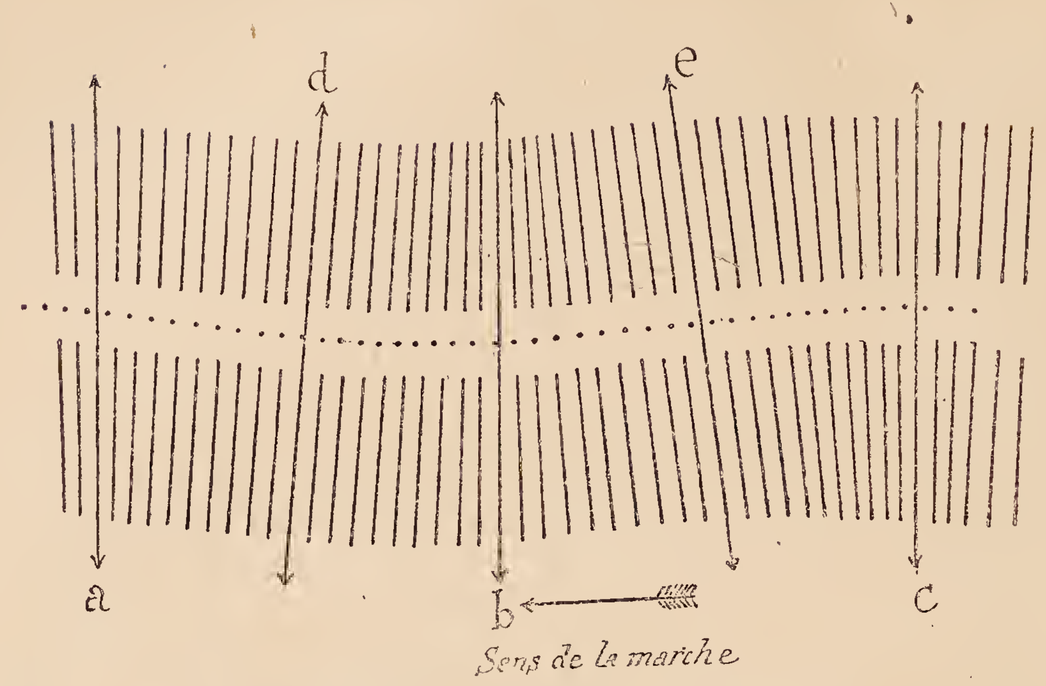


Fig. 326. — Analyse des torsions du corps dans la marche : en *a*, *b*, *c*, la torsion est nulle ; en *d* et *e*, elle est maximum et inverse l'une de l'autre (Vue d'en haut).

cause de la largeur de son bassin et pour éviter cette démarche

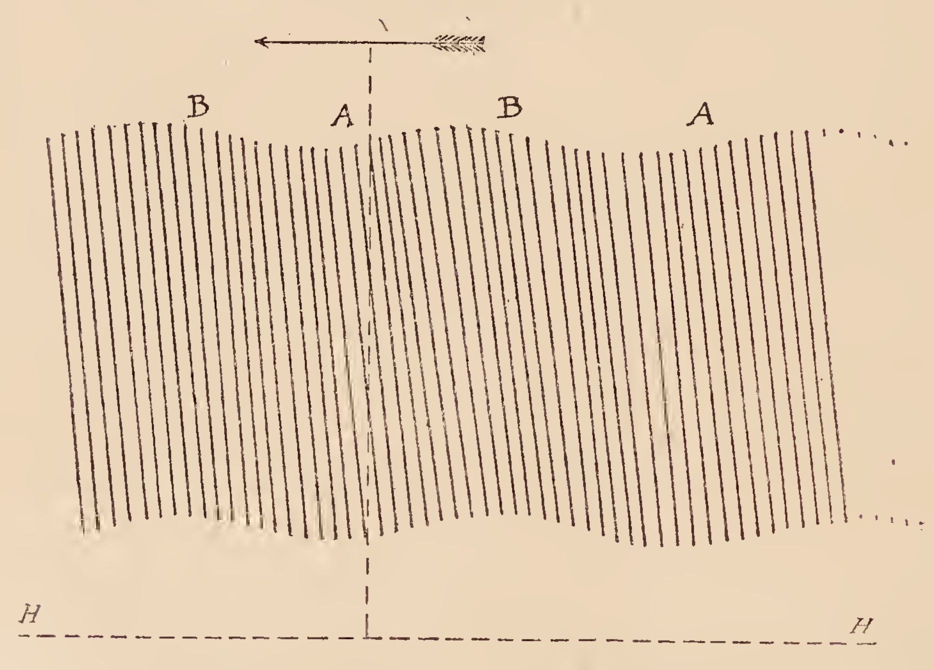


Fig. 327. — Photographies successives à 1/50 de seconde d'intervalle d'une baguette fixée le long de la colonne vertébrale d'un marcheur et dépassant la tête d'une longueur considérable. Le mouvement de balancement en avant et en arrière et l'inclinaison générale du tronc dans la marche sont ainsi amplifiés.

On voit en A, au moment du double appui du pied, le corps se pencher légèrement en arrière, et inversement en B, au milieu de l'appui, s'incliner légèrement en avant. La flèche indique le sens de la progression, la ligne H H l'horizon.

est obligée de rapprocher les pieds en dedans, ce qui enlève le parallélisme des jambes

Les mouvements du tronc précédemment étudiés, surtout les oscillations verticales sont très visibles sur une colonne d'infanterie en marche même à grande distance. Il est curieux de remarquer qu'il est impossible, au moyen de clairons ou de tambours d'obtenir un ensemble dans les mouvements. Chaque rang en suivant parfaitement le rythme qu'il entend ne sera pourtant pas en même temps à la même phase du pas, mais retardera de la fraction de seconde employée par le son du clairon pour arriver à chacun d'eux. Ainsi les têtes des fantassins présentent une ligne ondulée précisément semblable à l'onde sonore. Il n'y a pas manque d'ensemble, mais chacun n'entend pas la mesure au même moment.

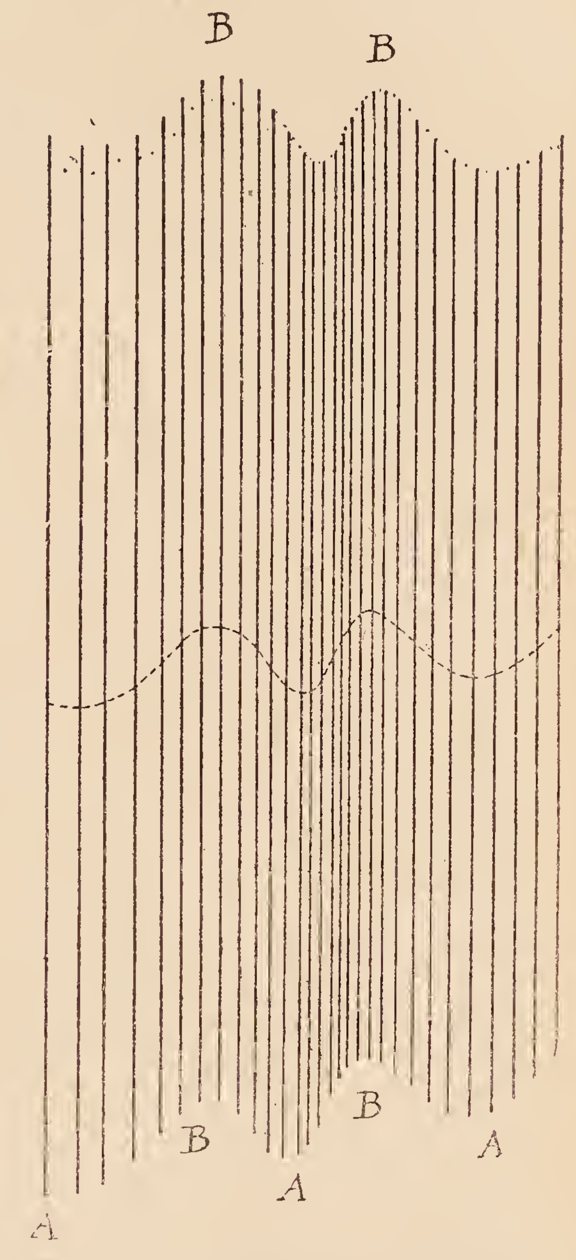


Fig. 328. — Mouvement du tronc dans la marche obtenu par les photographies successives d'une tige fixée dans le dos du marcheur fuyant devant l'appareil (Perspective du mouvement).

Longueur du pas et vitesse de progression. — Dans toutes les allures, les deux moitiés d'un pas complet sont souvent de longueurs inégales; la plus longue correspond à l'action de la jambe dont les muscles sont le plus exercés. C'est généralement le pied servant à donner l'appel dans le saut qui donne la plus grande impulsion dans la marche. Chez moi le pied gauche remplit cet office, j'use la semelle du pied gauche sous le gros orteil bien avant celle du pied droit.

Deux choses sont à considérer dans le pas : sa longueur et sa durée. La durée du pas implique le rythme ou la cadence de la marche. Cette cadence dépend d'un grand nombre d'éléments

et influe réciproquement sur la longueur du pas et sur la vitesse de progression.

Relation entre la longueur du pas et le rythme de la marche. — La vitesse de progression est le produit de la longueur du pas par la cadence, elle est le produit de facteurs complexes que nous allons examiner. L'expérience nous a montré que la vitesse maximum de la marche ne correspond pas à la cadence donnant la plus grande longueur du pas. Cela tient à la relation existant entre la longueur du pas et le rythme de l'allure. Le tableau précédent (fig. 322) indique que la longueur du pas augmente sans cesse jusqu'au rythme de 75 pas à la minute. Il est alors de 1,70 m. pour une taille moyenne de 1,67 m. Au delà de ce rythme la longueur du pas diminue ; lorsqu'on précipite trop la marche on ne laisse plus le temps à la jambe oscillante de se porter en avant, c'est la raison du raccourcissement du pas. La vitesse de progression aurait son maximum pour le rythme 85 soit 121 mètres à la minute mais cette vitesse ne peut être continuée longtemps dans ces conditions, ce n'est pas une allure économique. Elle diminue ensuite si la cadence s'accélère.

Fig. 329. — Comparaison des projections verticales des trajectoires du sommet de la tête, de l'épaule et de la hanche dans la marche.

On a fait coïncider les points 5 et 6 des trajectoires. On voit que la tête occupe constamment une position intermédiaire entre les trajectoires correspondantes de l'épaule et de la hanche marquées par les mêmes chiffres, H H, ligne horizontale.

Variation de la vitesse du corps pendant l'appui du pied. — La vitesse de translation du corps n'est pas constante, pendant l'appui du pied il y a un ralentissement de la vitesse horizontale de la masse du corps. Lorsqu'on traîne une voiture à bras, les

traits de la voiture sont alternativement tendus et relâchés. Cela se voit également dans la figure 295 où les points formant la trajectoire de la hanche ou de la tête sont plus ou moins rapprochés. On voit le ralentissement maximum correspondre au passage du rayon du membre actif par la verticale c'est-à-dire au maximum d'élévation du tronc au-dessus du plan horizontal (fig. 302),

Ces variations absolues de la vitesse ainsi que les réactions

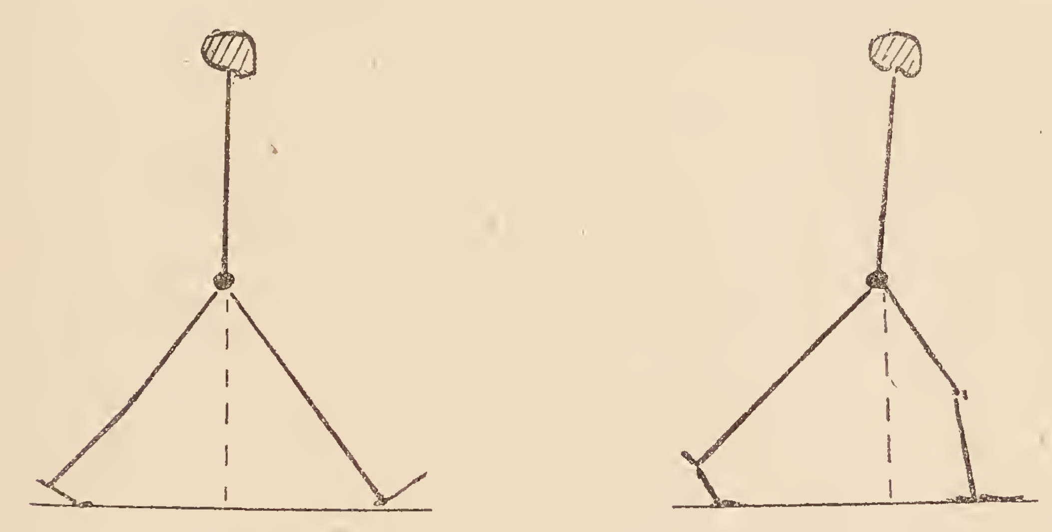


Fig. 330. — Schéma indiquant deux façons d'allonger le pas dans la marche ; l'une défectueuse en étendant fortement la jambe en avant, l'autre économique en poussant avec la jambe d'arrière et en recevant le poids du corps sur la jambe fléchie.

verticales augmentent avec la longueur du pas. Il y a là une limite de rendement, vouloir aller trop vite en allongeant le pas démesurément exagérerait tellement les oscillations verticales et les variations de la vitesse du tronc que l'allure deviendrait impraticable à cause de la fatigue qu'elle procurerait.

Les figures 296 à 304 montrent la loi des vitesses des différents segments du membre inférieur.

Manière économique de marcher. — Il y a du reste une manière d'obvier à ces défauts dans la pratique.

Les allures trop lentes ou trop vives doivent être laissées de côté, les rythmes de 55 à 65 pas à la minute sont les seuls avantageux. La longueur du pas doit s'obtenir par l'allongement du membre à l'appui, les jambes doivent rester légèrement fléchies à leur passage par la verticale, le tronc un peu incliné en avant et le pied posé en avant sans étendre démesurément la jambe (fig. 330).

La longueur du pas est ainsi obtenue en poussant avec la jambe en arrière le plus longtemps possible, en utilisant tout le déroulement du pied au lieu d'écarter les jambes d'une façon exagérée (fig. 331 et 332). La poussée avec le pied d'arrière a une certaine analogie avec la fente de l'escrime; la jambe est légèrement fléchie au moment du poser, elle



Fig. 331. — Deux images successives d'une marche fléchie :
1, Instant du double appui ; 2, instant suivant immédiatement après flexion de la jambe en avant pour éviter l'oscillation verticale du tronc.

est alors dans de bonnes conditions pour amortir le choc du pied. Ce choc n'est pas perdu, il se transforme en changeant la trajectoire de la hanche en diminuant son élévation et en uniformisant le mouvement. Le tronc glisse ainsi sur une surface moins accidentée et avec plus de régularité, sa translation se rapproche d'un mouvement rectiligne et uniforme, qui serait l'idéal.

La force motrice qui entraîne le tronc en avant est la résultante de la pesanteur et de l'effort d'extension du membre à l'appui.

La pesanteur tend à faire décrire à la hanche un arc de cercle autour du pied (fig. 333). Mais le rayon du membre en s'allongeant modifie la trajectoire de la hanche qui se rapproche ainsi de l'horizontale; cependant l'extension n'est jamais suffisante et la trajectoire s'abaisse à la fin de l'appui.

Néanmoins la résultante de la rotation de la hanche autour du pied et de la poussée du membre inférieur peut devenir une action horizontale F dans le sens de la progression (fig. 333).



Fig. 332. — Soldat chargé au moment du double appui et du lever du pied d'arrière. On voit l'inclinaison considérable du tronc.

Monsieur le Cᵗ de Raoul a longtemps pratiqué la marche fléchie [1], l'allure du paysan, de l'homme fatigué, et l'a popularisée dans l'armée. Je suis d'accord avec lui sur bien des points et j'avais déjà signalé depuis longtemps les avantages de cette allure au point de vue pratique [2]. On conçoit sans peine que plus le déroulement du pied sera complet et prolongé, plus l'action du membre à l'appui sur la hanche sera durable, plus celle-ci sera poussée en avant et plus le pas sera allongé.

L'inclinaison du tronc en avant facilite l'obliquité du membre qui pousse. L'extension complète de ce dernier donne à la trajectoire de la hanche une direction plus horizontale et plus rectiligne et prolonge l'action utile à la progression.

État du sol. — La longueur du pas dépend aussi de l'état

1. Cᵗ de Raoul, *Comment on marche.*

2. Demeny. L'Éducation physique. *Bulletin d'Anthropotechnie,* 1886, et *Manuel d'exercices gymnastiques de l'Instruction publique.*

du sol. Plus le sol est poli et glissant, plus la longueur du pas devient petite.

Sur un terrain parfaitement poli, la progression serait

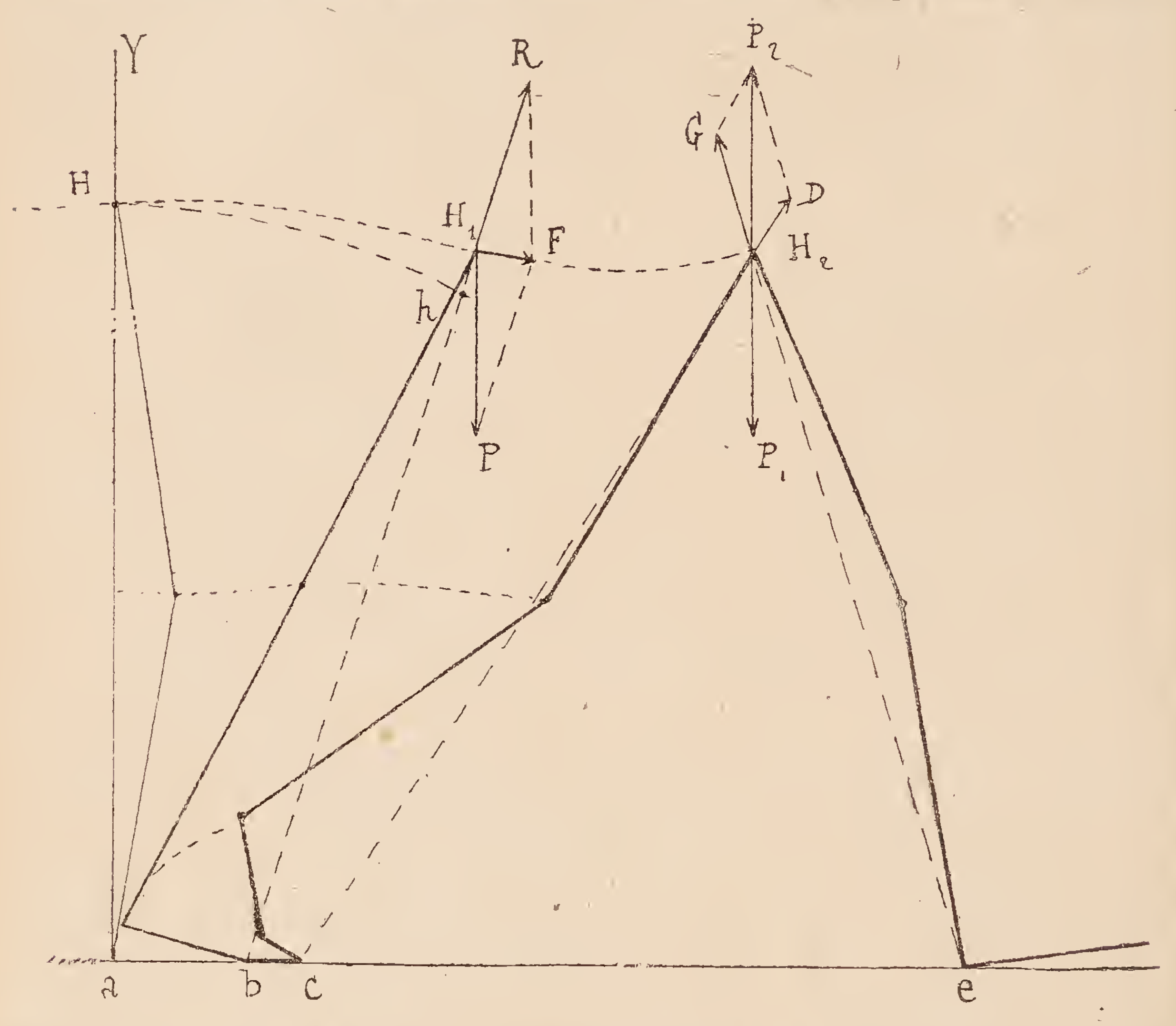


Fig. 333. — Action du membre inférieur dans la marche comme organe propulseur ou organe de soutien de la masse du corps. Combinaison de cette action avec le poids du corps pour engendrer la trajectoire de la hanche.

a Y, verticale et attitude de la jambe fléchie au moment du passage par cette ligne; H H_1 H_2, trajectoire de la hanche différant de l'arc de cercle H *h* à cause de l'allongement du rayon C *h*; F, résultante de l'action de la pesanteur P et de l'effort d'extension R du membre inférieur. Cette résultante est dirigée suivant la tangente à la trajectoire et représente la force motrice de progression. P_2, résultante de l'action des membres au moment du double appui et égale et contraire au poids du corps.

impossible, le pied glisserait en arrière, le corps tomberait, son centre de gravité descendant le long d'une verticale. La longueur du pas peut au contraire s'exagérer si le sol est rugueux, si les semelles des chaussures portent des pointes pénétrant dans la terre. Pour éviter le glissement sur les plans inclinés servant à l'abordage des bateaux, on les munit de baguettes en relief sur lesquelles le pied vient buter et trouve un point d'appui solide.

Si le sol ne résiste pas à la pression du pied, s'il est formé de terre ou de sable meuble, l'extension de la jambe n'est plus complètement utilisée pour la progression; si le tronc avance d'un côté, le pied recule de l'autre en pénétrant dans le sol (fig. 334 et 335). Il ne progresse en réalité que de la différence de ces deux chemins en sens inverse. Pour éviter cette



Fig. 334. — Écrasement du sol sous la poussée du pied dans la marche ; *a*, excavation produite ; *b*, soulèvement consécutif.

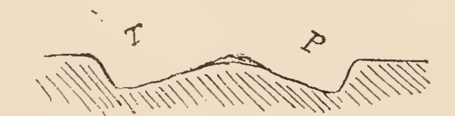


Fig. 335. — Empreinte du pied dans un terrain meuble. T, talon ; P, pointe.

perte de travail il faut précipiter son pas et ne laisser agir la pression du pied qu'un temps très court. Les semelles larges

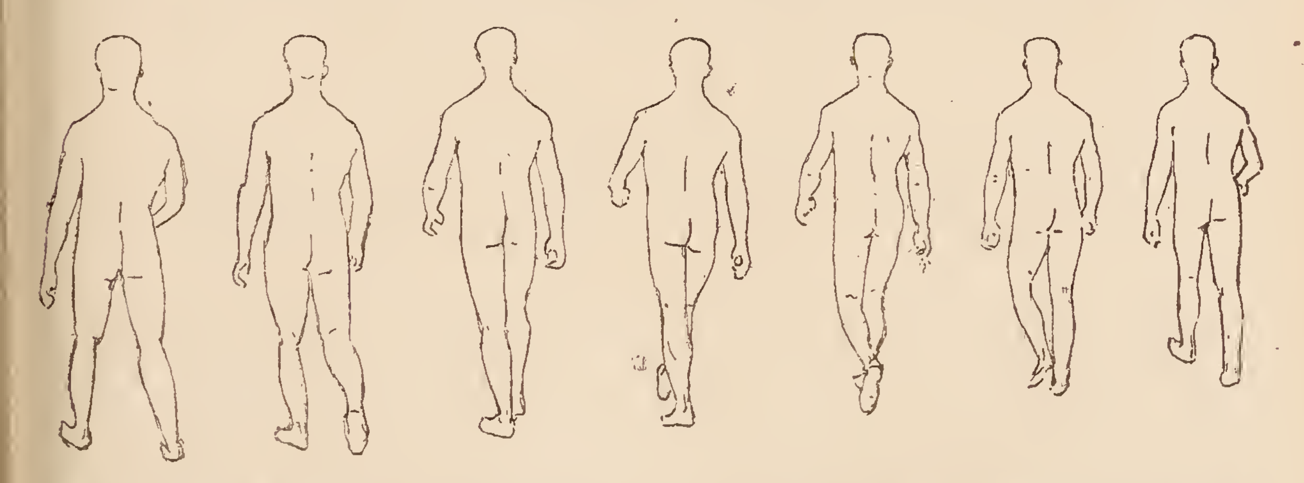


Fig. 336. — Images successives d'un marcheur fuyant devant l'observateur, montrant le synchronisme du mouvement des bras et des jambes.

donnent une base d'appui plus résistante. Les Lapons marchent sur la neige au moyen de patins ressemblant à de grandes raquettes; plus le milieu est fluide plus les organes locomoteurs des animaux présentent de grandes surfaces d'appui. Les membranes palmées du canard, les nageoires du poïsson sont plus petites que l'aile de l'oiseau, elles trouvent sur l'eau et sur l'air des résistances suffisantes à la progression.

Mouvements des bras. — Les mouvements des bras sont syn-

chrones et opposés au mouvement du membre inférieur du même côté. Ils ont pour effet de corriger en partie les déplacements du centre de gravité dus au mouvement des jambes et à la torsion du tronc. Plus l'allure est rapide moins l'oscillation des bras est étendue; ceux-ci se fléchissent même pour osciller plus rapidement (fig. 336 et 337).



Fig. 337. — Images successives d'un marcheur vu d'en haut.
La figure 2 a été portée à droite pour éviter la superposition.

L'oscillation du bras se fait souvent dans un plan oblique coupant en avant la ligne de progression, ce qui atténue encore l'instabilité de l'équilibre sur un seul pied au moment du lever[1]. Ces mouvements doivent être modérés, cependant si on les supprime, la démarche est gênée. Les amputés nouveaux, les malades atteints d'une paralysie ou atrophie des parties antérieure et postérieure du deltoïde ont une allure spéciale.

1. Le déplacement du centre de gravité dans le corps est la somme algébrique des déplacements dus au mouvement des bras et au mouvement des jambes. Or, à la fin du double appui, la jambe qui se lève est suspendue à la hanche, ce qui amène pendant l'oscillation le centre de gravité de ce côté et en avant. A ce moment s'il y a un bras en arrière et un bras en avant dans le plan transversal, le déplacement du centre de gravité sera moindre, la trajectoire qu'il décrit plus rectiligne, de là économie et utilisation de la force musculaire.

Quelques sportmen cherchent à rendre synchrones les oscillations des membres du même côté, prenant ainsi une allure qui ressemble à l'amble chez le cheval. Rien ne peut approuver cette façon anormale de procéder.

D'autres sujets incoordonnés font des mouvements exagérés des bras et du tronc, ils dépensent en pure perte leurs forces

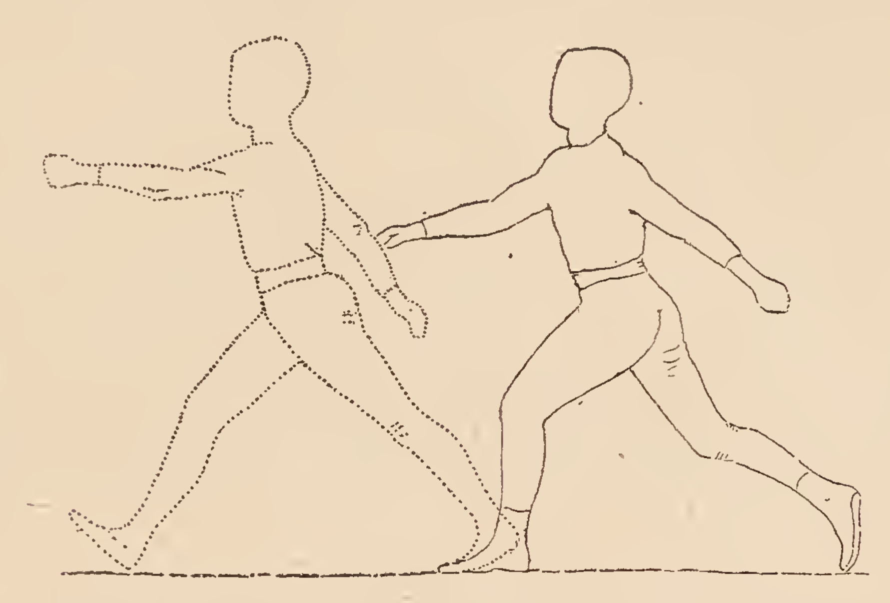


Fig. 338. — Images d'un marcheur incoordonné allongeant le pas en faisant des mouvements exagérés des bras et des jambes.

sans avancer et en se fatiguant beaucoup; il ne faut pas les imiter (fig. 338).

Pression des pieds sur le sol. — La pression du pied sur le sol présente un grand intérêt dans toutes les allures. Reprenant les premiers travaux de M. Marey sur ce sujet[1] nous avons avec ce dernier approfondi la question et construit un dynamographe enregistreur donnant la valeur de la pression du pied aux différentes phases de son appui. Nous avons remplacé les semelles à réservoir d'air par un plancher fixe s'appuyant sur des spirales de tube de caoutchouc à section étroite[2]. Le poids du corps se répartit sur un surface assez grande pour que l'écrasement soit presque insignifiant. Néanmoins la quantité d'air chassée des tubes est suffisante pour faire mouvoir un tambour enregistreur. Nous nous sommes mis ainsi à l'abri des erreurs dues à la masse même de l'instrument; bien réglé

1. Marey, *La Machine animale*; Paris, F. Alcan.
2. Marey, *Le mouvement*; Paris, Masson.

ce dernier devient assez sensible pour obéir à des pressions ou

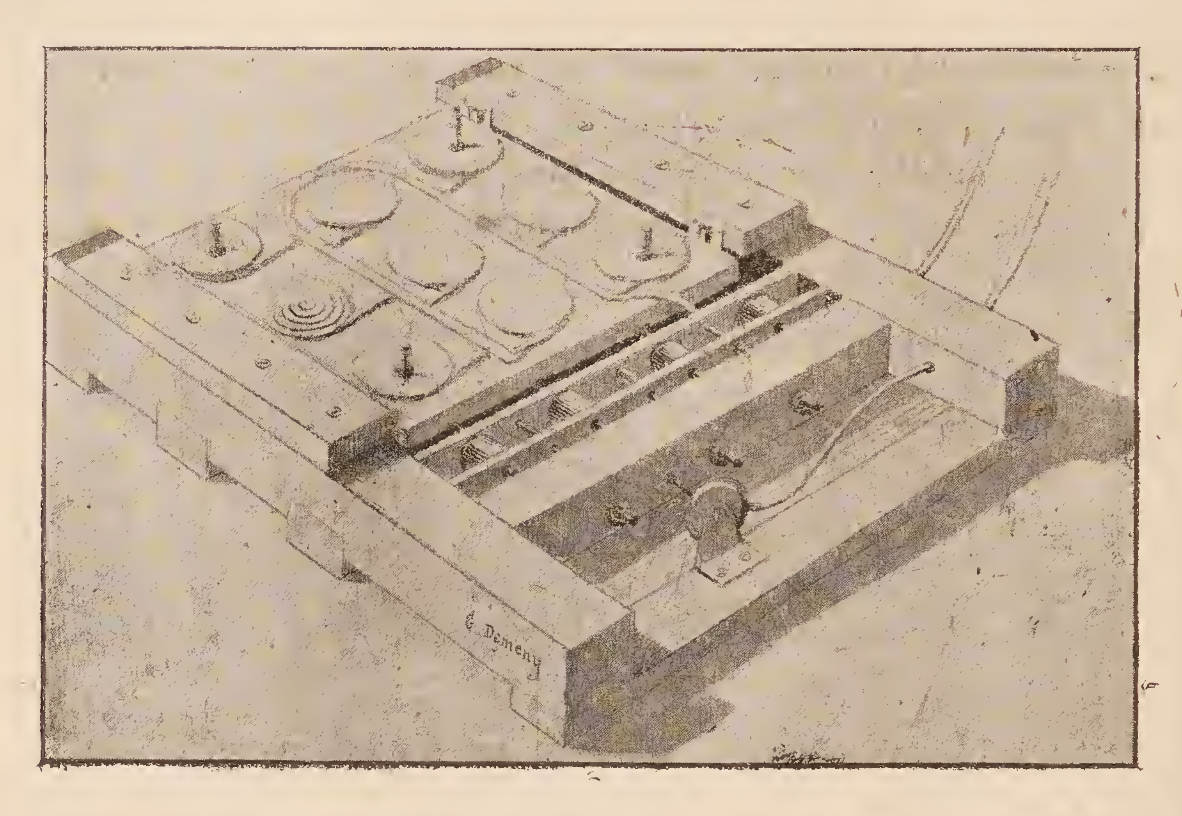


Fig. 339. — Intérieur d'un dynamographe donnant en fonctions du temps la courbe de la pression normale et tangentielle des pieds sur le sol dans les diverses allures (Marey et Demeny).

des chocs instantanés et retomber immédiatement à 0. Nous avons ajouté à l'enregistrement des pressions verticales l'ins-

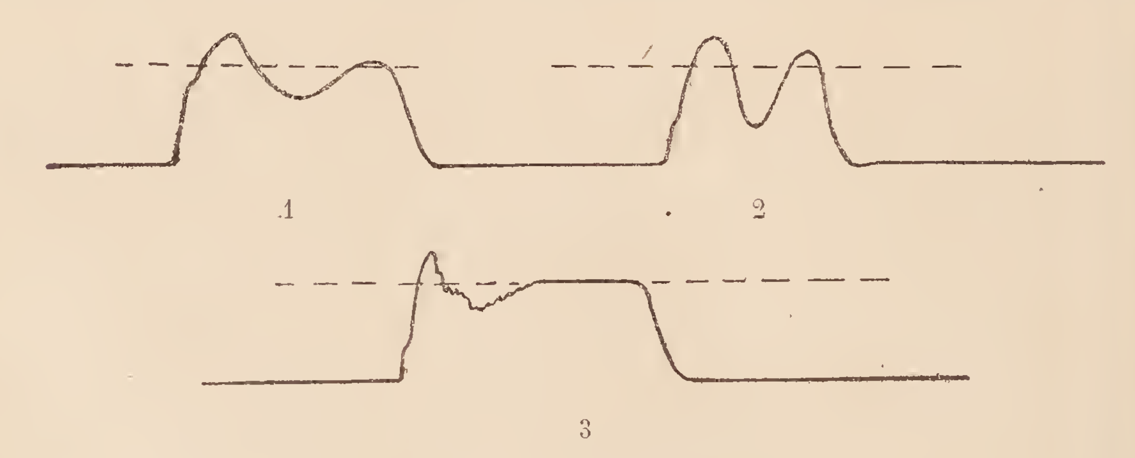


Fig. 340. — Forme de la pression normale du pied dans differentes allures.

1, pas de route ; — 2, pas de charge ; 3, pas cadencé. Le pas cadencé (3) se fait remarquer par le choc du pied au début, puis par le maintien de la pression au poids du corps.

cription des pressions tangentielles en ajoutant à l'instrument une disposition spéciale (fig. 339). (Voir *L'École française.*)

Avec de la pratique et beaucoup de soin on arrive à connaître assez cet appareil pour lui demander des mesures abso-

lues des pressions, la chose la plus délicate et la plus scabreuse de la méthode graphique.

On constate d'abord que la courbe de la pression normale du

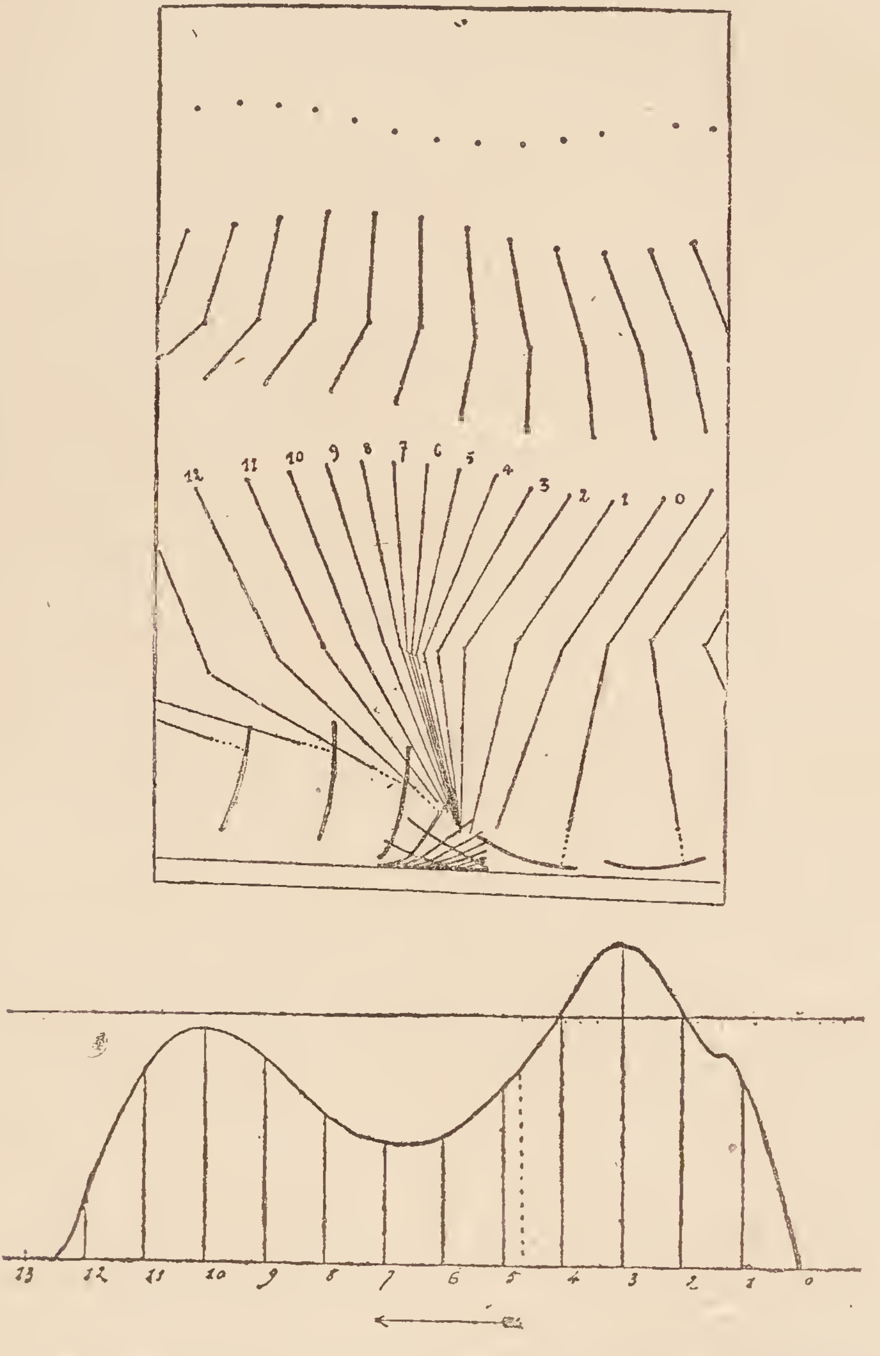


Fig. 341. — Combinaison des indications dynamographiques avec le données cinématiques de la chronophotographie.

pied oscille de part et d'autre de la ligne de poids, elle a une forme caractéristique (fig. 340). La pression dépasse au début la valeur du poids et cette valeur s'acquiert en deux montées dues aux contacts successifs du talon et de la pointe du pied.

La figure 341 nous montre la combinaison des données cinématiques de la photographie avec les données du dynamographe dans un appui du pied. Aux attitudes de la jambe

indiquées par numéros correspondent les pressions mesurées par les ordonnées portant le même chiffre.

On voit deux lignes horizontales entre lesquelles oscille la pression; ce sont la ligne de 0 et la ligne du poids du corps.

Nous avons étudié de très près ces tracés dans les allures normales et pathologiques (fig. 342)[1].

Chaque démarche possède sa courbe caractéristique et ses

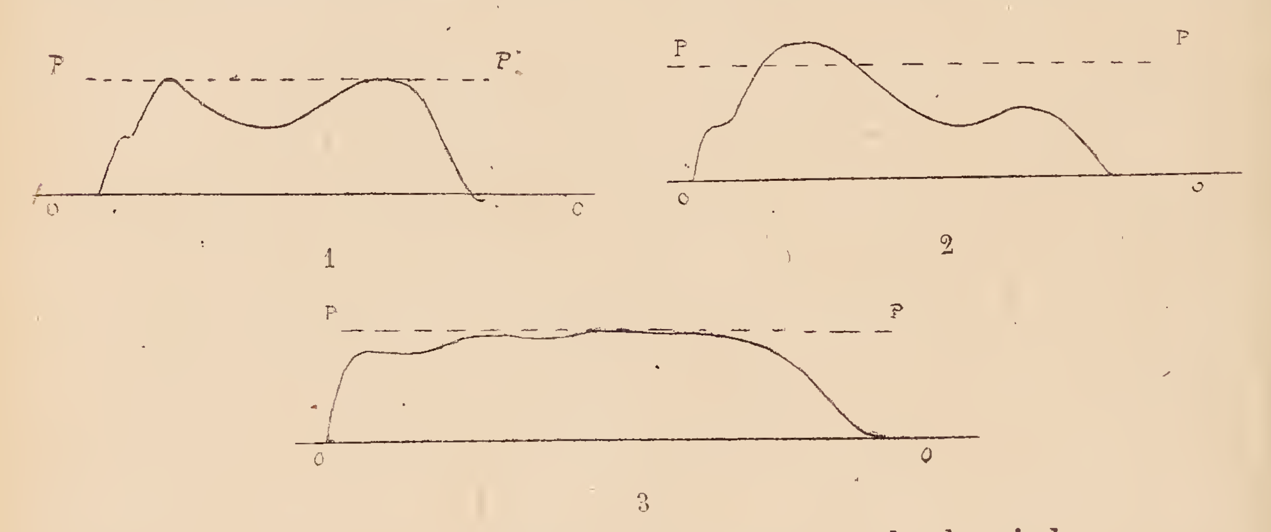


Fig. 342. — Forme de la pression normale du pied.

1, dans la marche ordinaire ; — 2, dans la marche fléchie; — 3, dans la marche jambe raidie. — 0 0, ligne de zéro du dynamographe ; P P, ligne de poids du corps.

trajectoires spéciales. Avec de la pratique nous étions assez familiarisé avec ces formes pour les reconnaître sans erreur.

Cette constance de la forme de la courbe du dynamographe tient à la relation intime qui la lie au mouvement (fig. 343 à 348).

Relation entre la pression des pieds sur le sol et le mouvement du centre de gravité. — La pression normale du pied sur le sol dépend de la vitesse du déplacement vertical du centre de gravité du corps. Cette pression est tantôt inférieure et tantôt supérieure au poids du corps; l'excès de la pression normale sur ce poids est proportionnel à l'accélération du mouvement vertical du centre de gravité.

Ainsi le dynamographe n'indique aucune pression supérieure au poids si la trajectoire du centre de gravité est une ligne droite horizontale ou si le mouvement vertical du centre de

1. Demeny et Quénu, Étude de la locomotion dans les cas pathologiques, *Comptes rendus Ac. des Sc.*, 28 mai 1888.

gravité est un mouvement uniforme; il y a alors égalité entre le poids du corps et l'action verticale du membre inférieur.

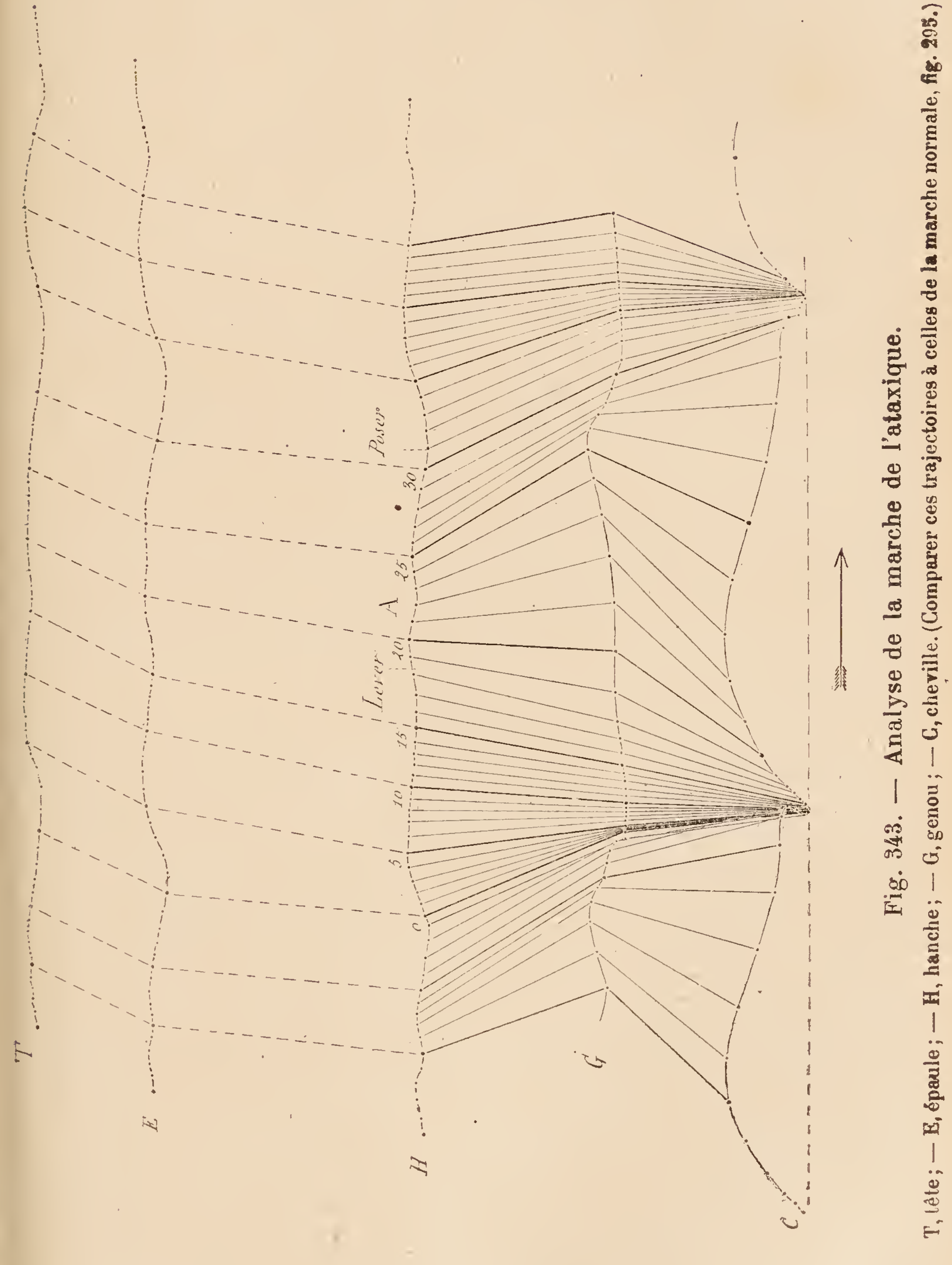


Fig. 343. — Analyse de la marche de l'ataxique.

T, tête; — E, épaule; — H, hanche; — G, genou; — C, cheville. (Comparer ces trajectoires à celles de **la marche normale, fig. 295.**)

Le dynamographe indique une pression constante et supérieure au poids du corps, si le mouvement vertical du centre de gravité est uniformément accéléré ascendant ou retardé

descendant; les muscles extenseurs font du travail moteur dans le premier cas, du travail résistant dans le second.

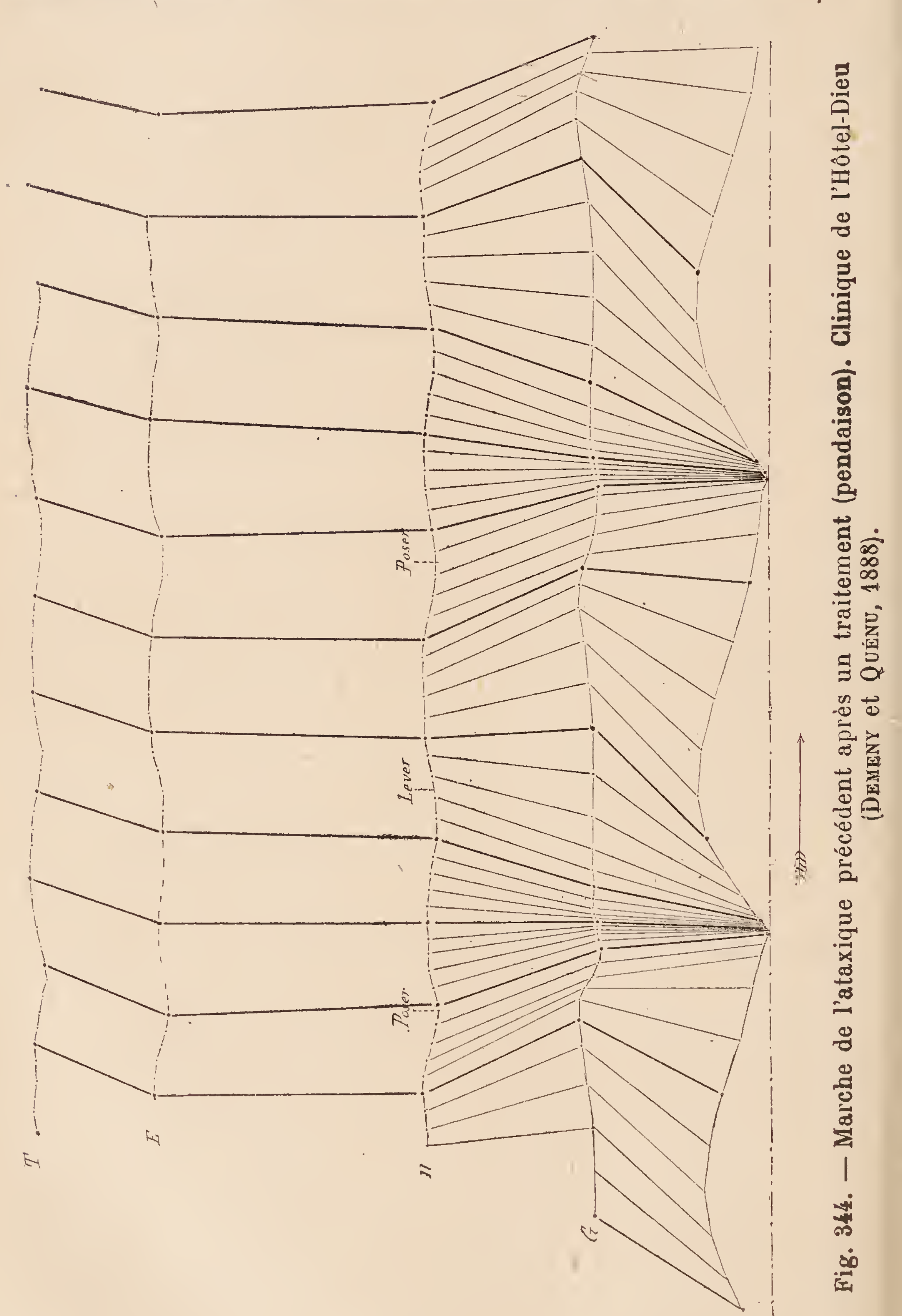


Fig. 344. — **Marche de l'ataxique précédent après un traitement (pendaison). Clinique de l'Hôtel-Dieu** (Demeny et Quénu, 1888).

Si le mouvement vertical du centre de gravité était uniformément accéléré descendant ou uniformément retardé ascen-

gant, les choses se passeraient comme dans la chute libre et le dynamographe indiquerait une pression nulle.

Ainsi en se laissant tomber librement en fléchissant les genoux on voit la pression tomber à 0 dès que le mouvement

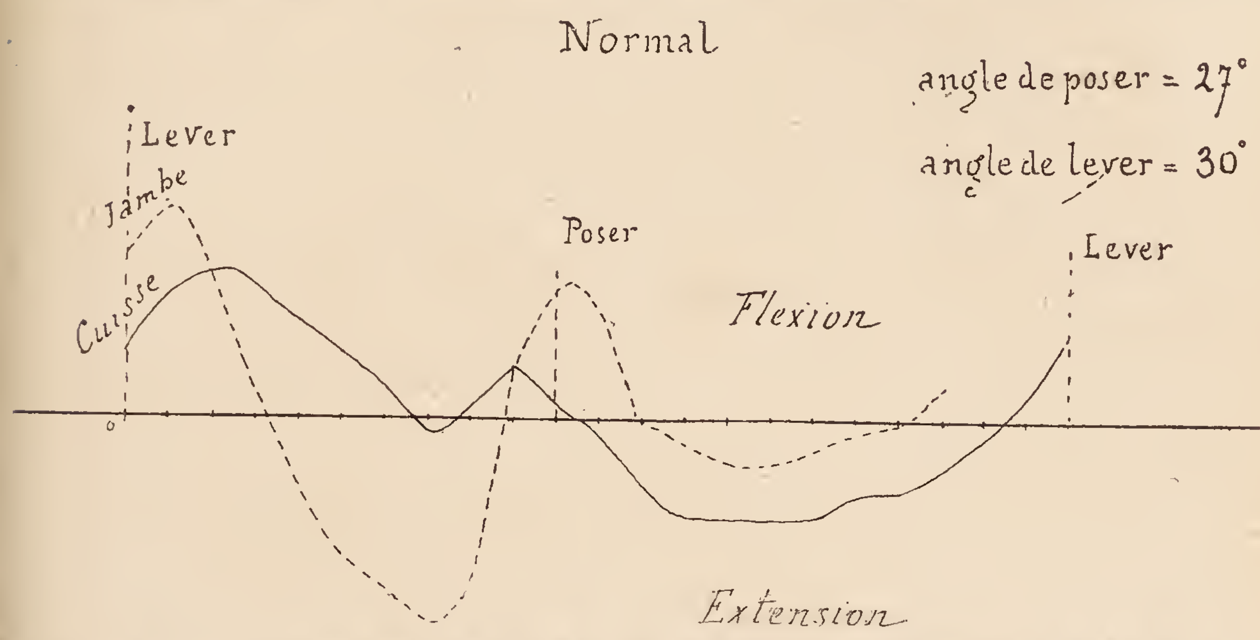


Fig. 345. — Courbes de la vitesse de flexion et d'extension de la jambe sur la cuisse, et de la cuisse sur le tronc, pendant la marche normale dans le lever et le poser du pied. La flexion est inscrite au-dessus de la ligne des abscisses, l'extension au-dessous ; les vitesses de flexion et d'extension sont tirées des figures 295, 296, 297, 298 et 299.

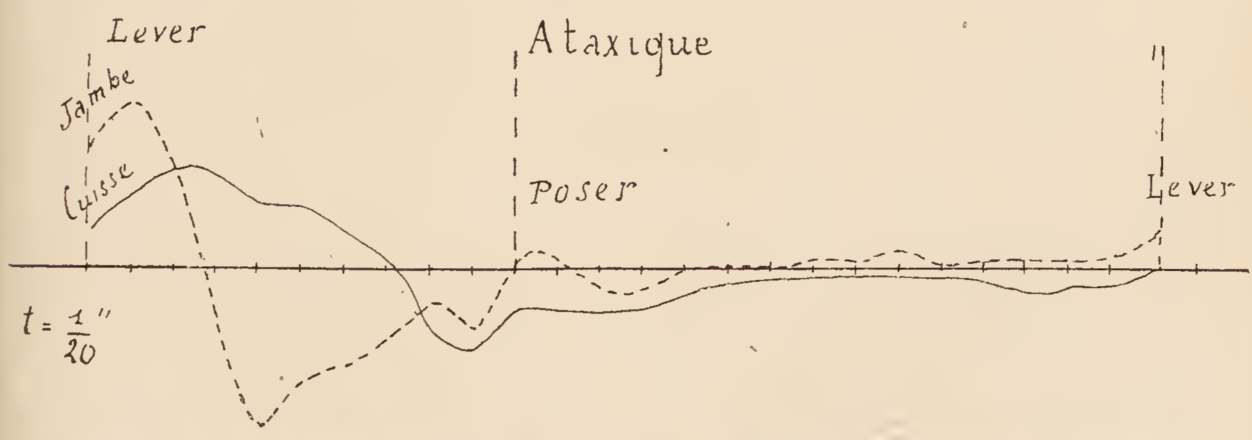


Fig. 346. — Loi du mouvement de flexion et d'extension du membre inférieur pendant le lever et le poser du pied dans la marche d'un ataxique. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 7 mai 1889.*)

du centre de gravité est uniformément accéléré. Le corps se trouve même suspendu un instant si l'on a retiré assez vivement les pieds (fig. 349, 350 et 351).

Si le mouvement vertical du centre de gravité est varié sans être uniformément varié, les courbes du dynamographe sont sinueuses et ses inflexions sont celles de la courbe de l'accélération du mouvement vertical.

Mais il faut avoir soin de remarquer que l'instrument ne distingue pas, pour les pressions excédant le poids du corps, si elles sont dues à une extension active du membre à l'appui, ou bien à un effort résistant, résistance accompagnée cepen-

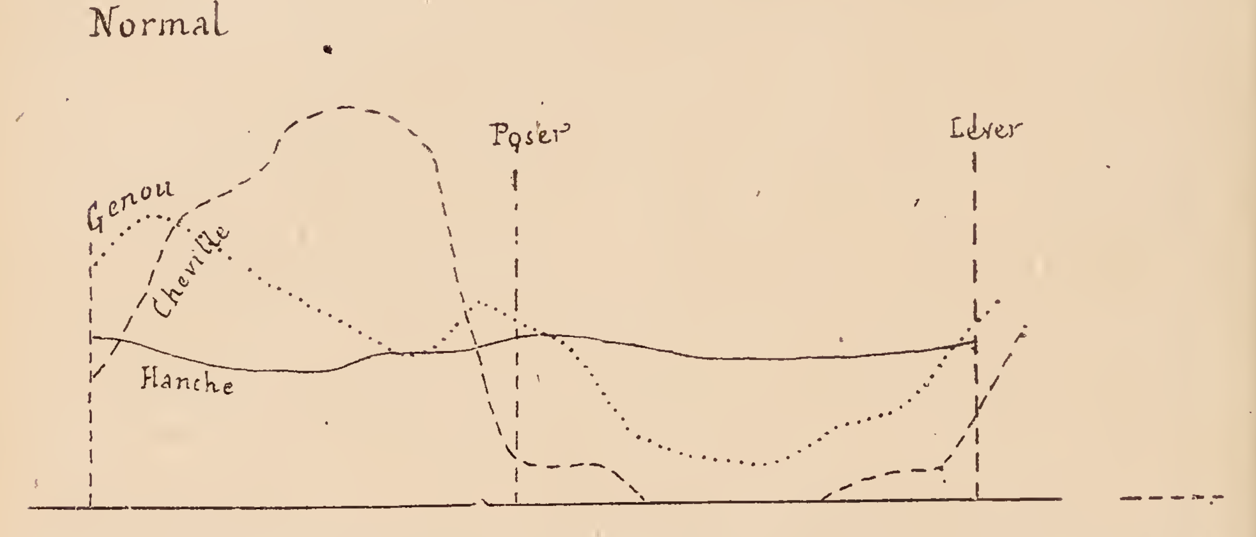


Fig. 347. — Courbes indiquant les vitesses relatives projetées horizontalement de la hanche, du genou et de la cheville pendant un pas.

Les ordonnées représentent les espaces parcourus dans 1/20e de seconde.

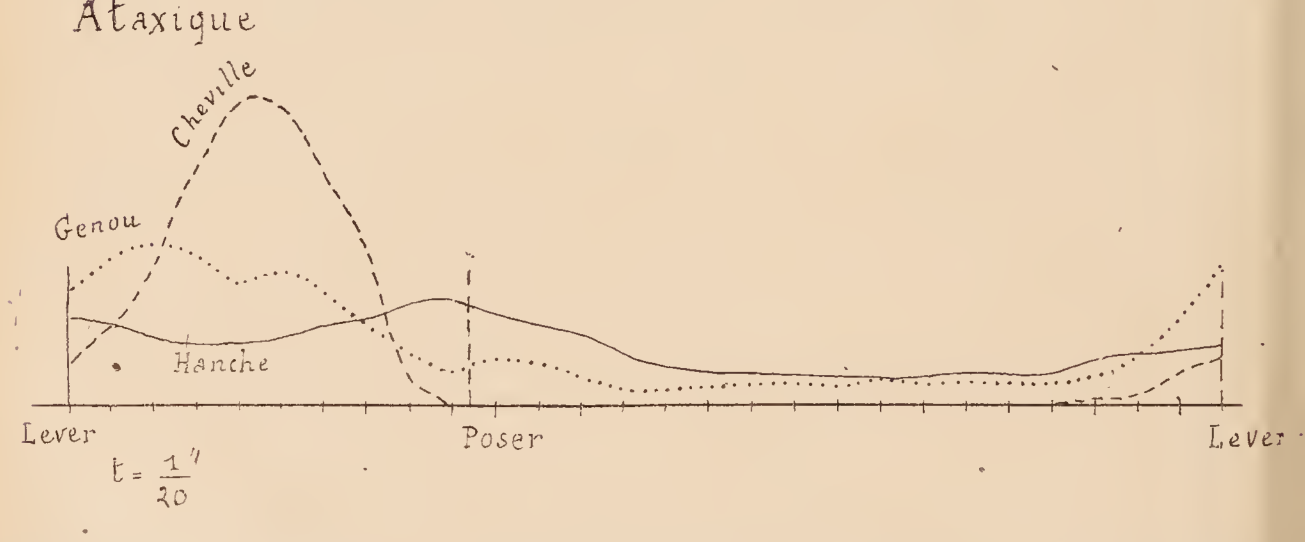


Fig. 348. — Vitesses horizontales de la hanche, du genou et de la cheville chez un ataxique.

Comparer ces courbes à celles de la marche normale, fig. 347.

dant d'une flexion. M. Marey n'a pas tenu compte de ces observations ce qui lui a valu de la part de M. Giraud-Teulon quelques critiques fort justes [1].

En opérant dans ces conditions nous avons pu, après un

1. Voir *Comptes rendus de l'Académie de médecine*, 25 septembre 1883; discussion de Marey et Giraud-Teulon.

travail assez délicat reconstituer les courbes données par le dynamographe au moyen des trajectoires chronophotographiques de la même allure.

FORMES CARACTÉRISTIQUES DE LA PRESSION DES PIEDS DANS DIFFÉRENTES ALLURES. — Nous indiquons ci-dessus quelques formes caractéristiques de la pression du pied dans la marche normale, la marche fléchie, la marche raidie et les allures

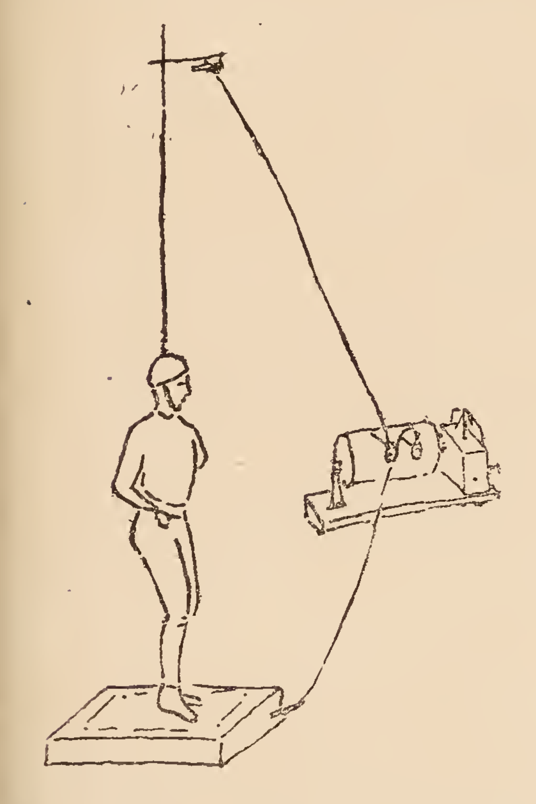


Fig. 349. — Disposition pour inscrire simultanément la pression des pieds sur le sol et le mouvement vertical de la tête au moyen du dynamographe et d'un fil de caoutchouc (MAREY et DEMENY).

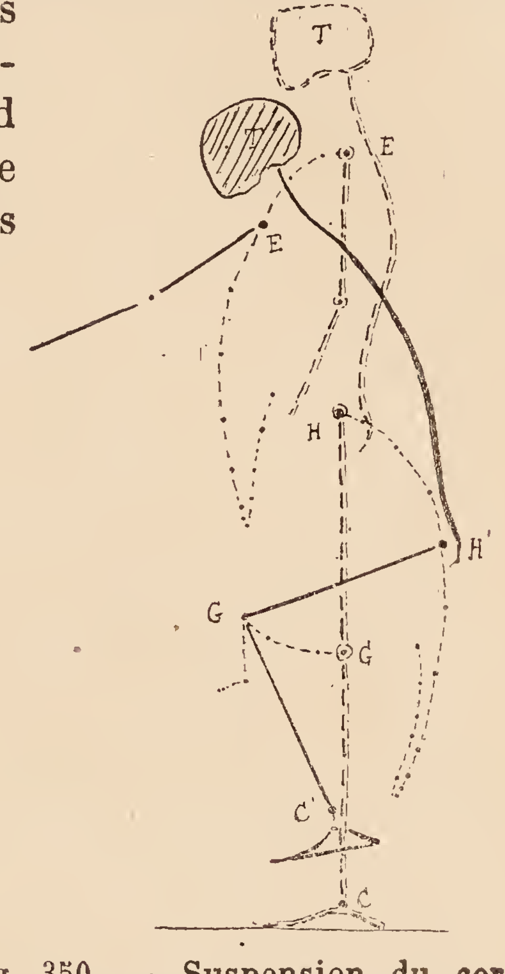


Fig. 350. — Suspension du corps sans sauter par la simple flexion vive des jambes.

La figure ponctuée correspond à la station droite, la figure en traits pleins à la suspension. Les lettres indiquent la situation de la tête, de l'épaule, de la hanche, du genou et de la cheville correspondant dans les deux attitudes et sont réunies par les trajectoires décrites par ces points.

militaires, pas de route, pas de charge et pas cadencé (fig. 340 et 342).

Ce dernier pas est assez brutal, il ne peut être considéré comme allure pratique, c'est peut-être un exercice gymnastique, mais qui est si différent de la marche normale qu'il est impossible de le considérer comme un moyen d'éducation ayant pour but d'améliorer la marche. Tout ce que nous voulons atténuer dans celle-ci, réactions verticales du corps, choc du

pied au poser, variations dans la vitesse horizontale de progression, tous ces défauts sont justement exagérés dans cette

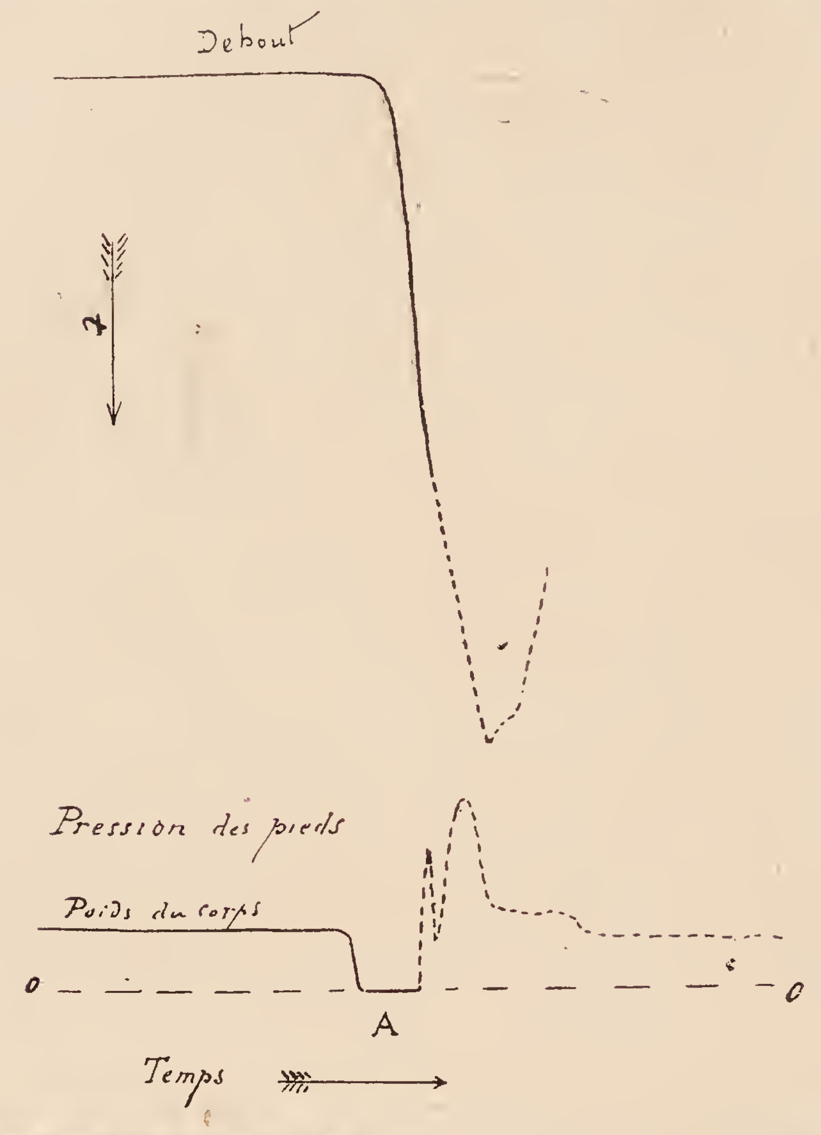


Fig. 351. — Inscription du mouvement vertical de la tête et de la pression normale des pieds montrant qu'on se détache de terre sans sauter par le raccourcissement rapide des jambes.

On voit la tête descendre dès le début et le dynamographe tomber à zéro.

allure d'ailleurs très fatigante qui ne peut être considérée que comme allure de parade (fig. 352).

Composante tangentielle de la pression du pied. — La force impulsive n'est pas en réalité représentée par la pression normale du pied, mais par la composante tangentielle horizontale dans la direction de la progression (fig. 353).

Cette pression tangentielle du pied d'abord négative au moment où le pied pose à terre devient ensuite positive. Le choc du pied retarde donc la vitesse de progression tant que le rayon du membre n'a pas dépassé la verticale. Cependant le

pied au moment du poser n'a pas nécessairement une action retardatrice. Il y a des cas où l'on tire avec le pied comme le

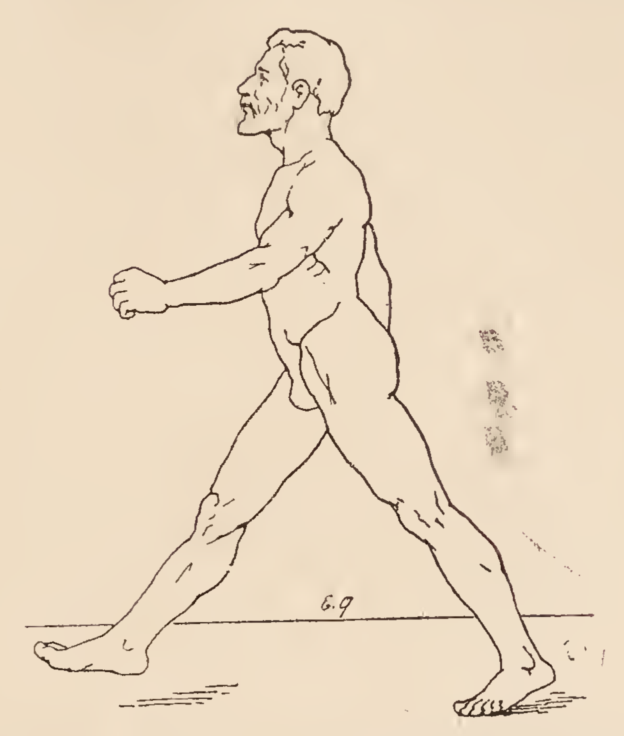


Fig. 352. — Marche de parade au pas cadencé, la jambe étendue en avant, le pied posant à plat (Allure défectueuse).

cheval attelé tire avec son avant-main dans le démarrage. Les muscles fléchisseurs de la jambe et extenseurs de la cuisse

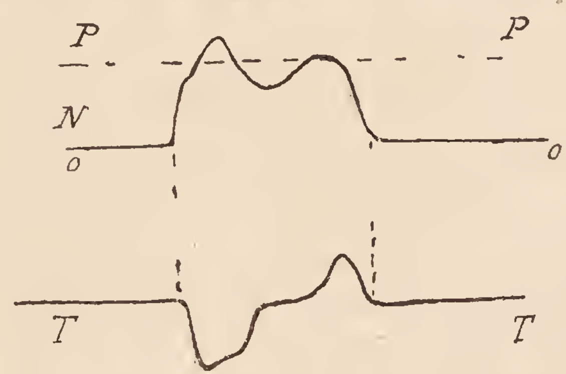


Fig. 353. — Tracés correspondants de la pression normale N et de la pression tangentielle T du pied pendant la marche.

0, 0, ligne de zéro du dynamographe ; P, P, ligne de poids. On voit la pression T être négative au poser du talon et devenir ensuite positive à la fin de l'appui du pied.

peuvent produire cet effet très facilement. On expliquerait ainsi la substitution subite de leur contraction à celle des extenseurs de la jambe et des fléchisseurs de la cuisse au moment du poser. (Voir pression tangentielle du pied in *L'Ecole française.*)

Variation de la pression du pied avec le rythme, la charge

ET LA FATIGUE. — On voit dans la figure 354 la loi de variation de la pression des pieds dans la marche de plus en plus accélérée. Des deux maxima de la pression qui ont lieu pendant l'appui, le premier augmente avec la cadence, le second diminue avec elle, en même temps la petite échancrure qui précède le premier maximum diminue de plus en plus.

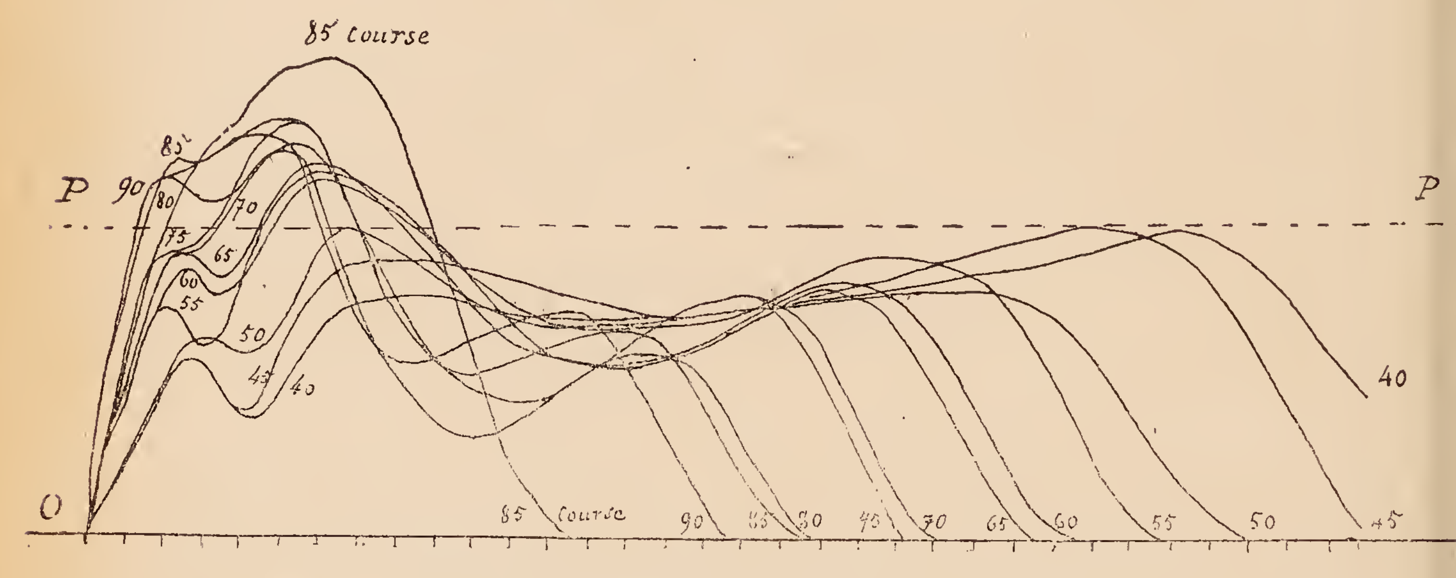


Fig. 354. — Forme de la pression normale du pied sur le sol dans des marches variant de la cadence 40 à 90.

On a pris une même origine des temps en O. — 0, 0, ligne de zéro du dynamographe, P, P, ligne de poids du corps. On voit la différence des tracés correspondant à une marche et à une course effectuées au même rythme, 85 pas à la minute.

La charge et la fatigue agissent dans le même sens sur la durée de l'appui du pied.

L'effet principal est de prolonger cet appui et surtout de prolonger la durée du double appui comme dans les claudications douloureuses. Il est pénible en effet de rester en équilibre sur une jambe lorsqu'on est lourdement chargé, c'est pourquoi le pied aussitôt levé se porte rapidement en avant pour diminuer le temps d'appui unipédal et la fatigue qui en résulterait (fig. 312).

INFLUENCE DE LA CHARGE ET DE LA TAILLE SUR LA LONGUEUR DU PAS ET LA VITESSE. — La longueur du pas diminue chez l'homme fortement chargé, il en est de même de la cadence. La taille produit un effet à peu près semblable sur la cadence, la longueur du pas n'augmente pas assez avec la taille pour compenser le ralentissement de la cadence, il en résulte une différence peu sensible dans la vitesse de progression. Il n'y a pas

similitude entre deux hommes l'un de grande, l'autre de petite

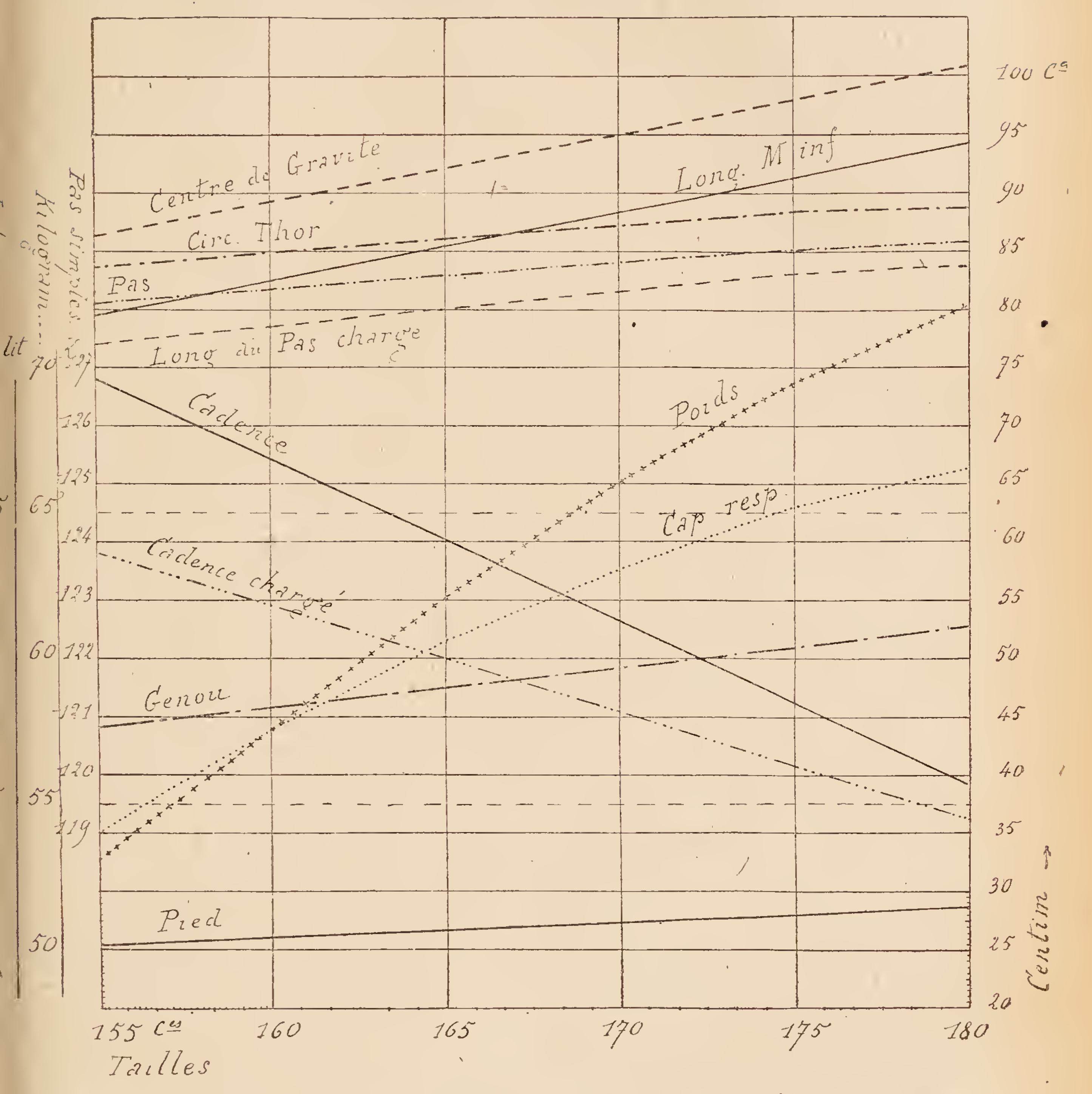


Fig. 355. — Tableau résumant un grand nombre de mesures et d'expériences faites sur 250 hommes d'infanterie, en collaboration avec le capitaine Andriveau, en 1891.

Les tailles sont portées en abscisses et en centimètres. Les courbes indiquent la longueur du pied, la hauteur du genou, la longueur du membre inférieur, la hauteur du centre de gravité, le poids, la circonférence thoracique, la capacité respiratoire en fonction de la taille. On voit la longueur du pas ordinaire, du pas avec charge de 20 kilog. et la cadence à la minute (pas simples) de la marche sans charge et avec charge de 20 kilog.

taille. L'homme petit compense la petitesse du pas par la vivacité de ses mouvements et la rapidité de son pas.

Le tableau précédent est le résultat d'expériences faites sur 250 hommes d'infanterie avec le capitaine Andriveau, il indique

les variations de la longueur du pas et de la cadence avec ou sans charge et suivant les tailles de 1m,55 à 1m,80 (fig. 355).

Montée et descente d'un escalier. — L'inclinaison du terrain agit sur la longueur du pas. Celui-ci est plus long en montée qu'en descente et la pente du terrain a pour effet de changer l'attitude du marcheur. Lorsqu'on gravit un escalier,

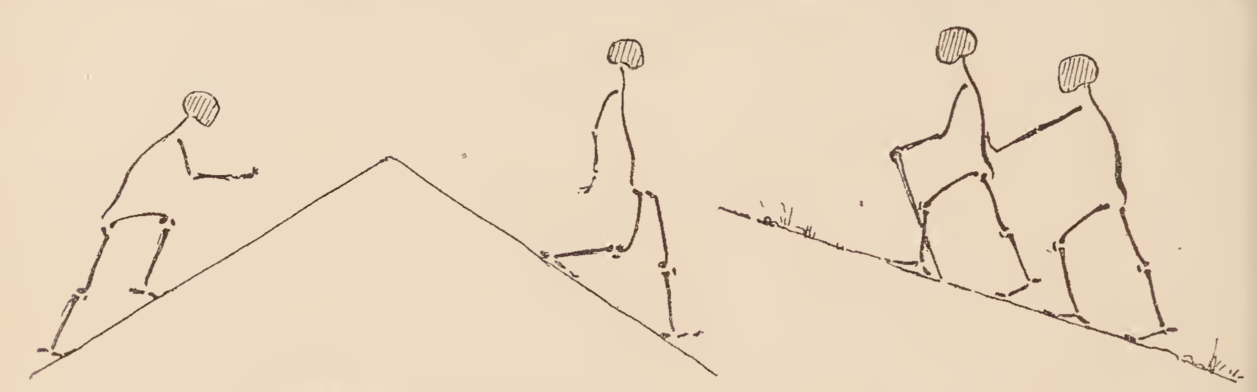


Fig. 356. — Attitudes de l'homme à la montée et à la descente d'une forte rampe. Marche ascendante facilitée par une légère poussée horizontale.

lier, on soulève la jambe gauche pour la placer sur la marche qui est au-dessus, puis la jambe droite étant totalement étendue, on incline fortement le tronc en avant de façon à ce que le centre de gravité du corps se projette verticalement au-dessus du pied gauche, le corps peut alors se maintenir en équilibre sur ce pied, les segments du membre inférieur gauche formant un système solide grâce à la contraction des extenseurs. Le pied droit se soulève, la jambe droite se fléchit fortement pour aller prendre appui sur la marche suivante pendant que le tronc est soulevé par la seule extension de la jambe gauche à l'appui. Si la marche est très élevée et surtout très large, la flexion du tronc sera maximum, on tendra même les bras horizontalement en avant, pour amener dans cette direction le centre de gravité. Celui-ci est à chaque pas porté un peu plus haut que sa position définitive lors de l'appui de la jambe, et les oscillations latérales sont aussi plus prononcées que dans la marche en plaine (fig. 356). Dans la montée, la composante horizontale d'entraînement diminue beaucoup d'intensité. Aussi favorise-t-on cette allure en s'aidant d'une canne sur laquelle le bras exerce une traction. La moindre poussée horizontale exercée par un aide avec la main dans la région lombaire est aussi active et vous procure un soulagement considérable.

La montée est toujours pénible à cause de la grande quantité

de travail effectué (poids du corps élevé à la hauteur d'une marche) par chacune des jambes alternativement à chaque pas. Nous ne parlons pas ici de la manière d'atténuer les troubles cardiaques et respiratoires qui se produisent de façon à continuer le travail produit ; ceci touche à la coordination respiratoire et à la résistance à la fatigue dont nous avons parlé précédemment.

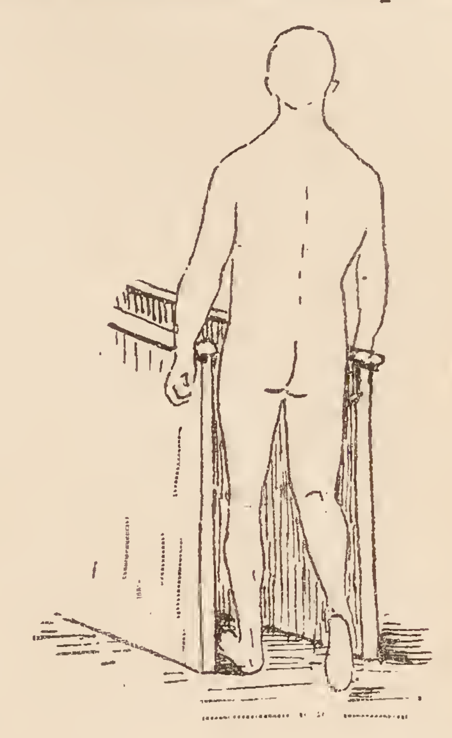


Fig. 357. — Marche rendue impossible dans un couloir étroit qui empêche les oscillations latérales du bassin.

Marche descendante. — Dans la marche descendante si l'on part du pied gauche, le corps d'abord soutenu en équilibre par la jambe droite descend d'une hauteur verticale égale à celle d'une marche sous l'action de la pesanteur, la contraction des extenseurs luttant contre celle-ci et ne permettant qu'une descente lente et uniforme. Le tronc est porté en avant au-dessus du pied droit qui pose sur la marche placée en dessous. Si la descente est rapide le tronc s'incline en arrière et les bras se portent de ce côté, pour éviter la chute en avant qui tend toujours à se produire. Les extenseurs du tronc agissent dans la descente, les muscles abdominaux dans la montée.

Les oscillations verticales pendant l'appui du pied ont disparu. Le travail n'est guère moindre que pour la montée, la contraction des extenseurs des membres sert ici, non plus à élever le corps, mais à s'opposer à sa chute et au mouvement uniformément accéléré dû à la pesanteur.

La marche descendante sur une pente un peu forte demande un travail constant des extenseurs, elle fatigue pour cette raison ces muscles. Le poids du corps fait de plus glisser le pied tout au fond de la chaussure, les orteils sont ainsi froissés et deviennent douloureux.

La montée et la descente semblent demander une même dépense de travail mécanique. Il y a cependant physiologiquement une différence entre la production de travail résistant et

le travail moteur. Dans la descente, les muscles de la jambe se fatiguent, *mais on ne s'essouffle pas*. Ce fait reste à expliquer.

Le travail des muscles dans la descente peut être comparé au travail d'un frein. Nous pensons que les troubles respiratoires ne sont pas identiques dans les deux cas, parce que :

1° dans la descente les muscles font du travail négatif, et leur allongement facilite la circulation de retour ;

2° l'attitude est favorable à l'inspiration ;

3° le muscle raccourci en contraction concentrique abandonne et développe plus de chaleur que le muscle étiré et que la chaleur centrale augmentée est un excitant des mouvements respiratoires.

Remarque intéressante : il est plus pénible de descendre une rampe continue qu'un escalier. Dans ce dernier il y a un repos à chaque degré tandis que dans la descente du plan incliné il y a continuité dans l'effort de soutien et de résistance de la part des membres inférieurs.

Dans la *marche à reculons*, la longueur du pas est diminuée. Dans la marche latérale avec ou sans croisement des jambes, celles-ci n'ont plus d'avantage à se fléchir.

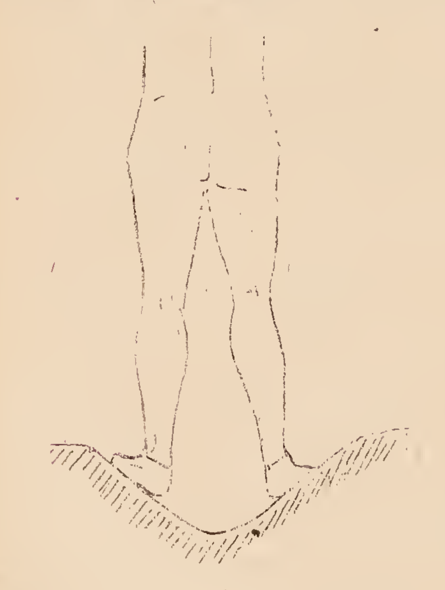


Fig. 358. — Piste en forme de caniveau pour redresser les déviations du pied en dedans.

Dans la marche, en tirant ou poussant un véhicule, la durée de l'appui du pied augmente ; le corps s'incline fortement en avant et on utilise son poids au début comme force motrice. Dans la marche sur la pointe des pieds la longueur du pas diminue ainsi que les réactions verticales, on n'avance pas vite ; nous en avons expliqué la raison à propos des hauts talons.

Marche dans un couloir et dans un fossé. — Si l'on marche entre deux barrières resserrées assez étroites pour empêcher les oscillations latérales du tronc, la marche devient impossible, on se voit obligé de se placer de côté pour progresser. Si l'on marche dans un caniveau ou un fossé présentant des talus inclinés, le pied est tourné en dehors ; c'est un moyen employé contre

le vice de conformation du pied consistant à marcher sur le bord externe. Nous ne pouvons pas nous arrêter plus longtemps à analyser ces progressions d'un usage d'ailleurs peu pratique (fig. 357 et 358).

Effet hygiénique. — La marche est l'exercice hygiénique par excellence. Si l'on a le souci de sa santé on doit faire au moins deux heures par jour de marche à l'air pur et à une allure modérée. On se repose ainsi du travail ou d'une longue station debout ou assise. Les contractions musculaires activent le cours du sang, les ébranlements légers communiqués à toute la masse viscérale ont le meilleur effet sur la décongestion des organes contenus dans l'abdomen et sur le cerveau. La respiration activée agit aussi favorablement sur la circulation pulmonaire.

Il faut bien entendu choisir ses heures pour ne pas être incommodé par la chaleur ou par le froid.

Si l'on veut dormir et avoir un sommeil calme on fera une promenade après le repas du soir, on devra s'habituer à ce régime quelque temps qu'il fasse. Les vêtements de laine seront toujours préférables, l'homme prudent aura sur son bras un manteau ou un plaid pour parer aux changements brusques de température si funestes dans nos contrées. Si l'on prend une canne à la promenade il faut plutôt s'en servir pour la défense et l'amusement que pour s'appuyer, sinon la démarche devient mauvaise et le corps perd de sa symétrie.

Une promenade à pied vaut infiniment mieux qu'une course en bicyclette ou en voiture, surtout en voiture automobile.

Il ne faut pas confondre la marche hygiénique avec les longues étapes comme on en parcourt dans les records. Autant la première profite à la santé, autant les secondes sont défectueuses et peuvent occasionner des accidents graves. Les moins dangereux se manifestent du côté du pied si la chaussure est mauvaise et si l'on n'apporte pas de soins constants à cet organe.

Hygiène du pied. — Les personnes qui transpirent beaucoup se trouveront bien de saupoudrer le pied de fécule de pomme de terre ou de poudre d'amidon. Elles s'essuieront à sec en ayant soin de ne pas se laver fréquemment. Les durillons peuvent

être évités par des petits coussins de ouate et surtout en ayant des bas de laine ajustés de préférence au fil et au coton.

Les ampoules au talon ou à la plante seront percées d'un fil passé en séton et se desséchant ainsi facilement sans former de plaie. Certaines personnes se trouvent bien de se frotter les pieds de vaseline ou de dissolution de savon dans l'eau-de-vie. Il faudra éviter de se chauffer à la cheminée si l'on craint les engelures.

Les ongles doivent être coupés carrément sans chercher à les dégager de la peau (fig. 359).

L'ongle est nécessaire pour soutenir les parties molles ; en le



Fig. 359. — Déformation des orteils par la chaussure et la taille arrondie des ongles.

A, taille carrée ; — B, orteil en marteau et ongle incarné.

taillant en pointe sur leurs côtés, on s'expose à l'infirmité connue sous le nom d'ongle incarné.

Les marches forcées, les stations debout prolongées finissent par fatiguer et enflammer les articulations ; le genou et la cheville sont particulièrement sujets à des arthrites graves.

M. Carrieu cite des exemples nombreux de tarsalgies dont il a été témoin chez les adolescents qui ont abusé de la marche[1].

Influence de la faiblesse sur la marche. — Les personnes faibles, vieillards ou convalescents n'ayant pas assez de vigueur musculaire, marchent en n'étendant jamais complètement les rayons de leurs segments osseux. Le pas est alors raccourci et les réactions verticales du tronc sont augmentées à cause de la

1. Dr Carrieu, *De la fatigue et de son influence pathogénique.*

faiblesse musculaire qui modifie la forme de la trajectoire normale de la hanche. Il est beaucoup plus pénible d'engendrer une trajectoire rectiligne horizontale que de procéder par arcs de cercles lorsque les segments sont étendus. Ce ne sont pas là des allures à imiter, elles sont extrêmement désavantageuses au point de vue du rendement en effet utile. Nous aurons à revenir sur le rendement quand nous nous occuperons du travail dans les diverses allures.

COURSE

Caractéristique de la course. — Si l'on accélère graduellement la vitesse de la marche, on passe inévitablement de la

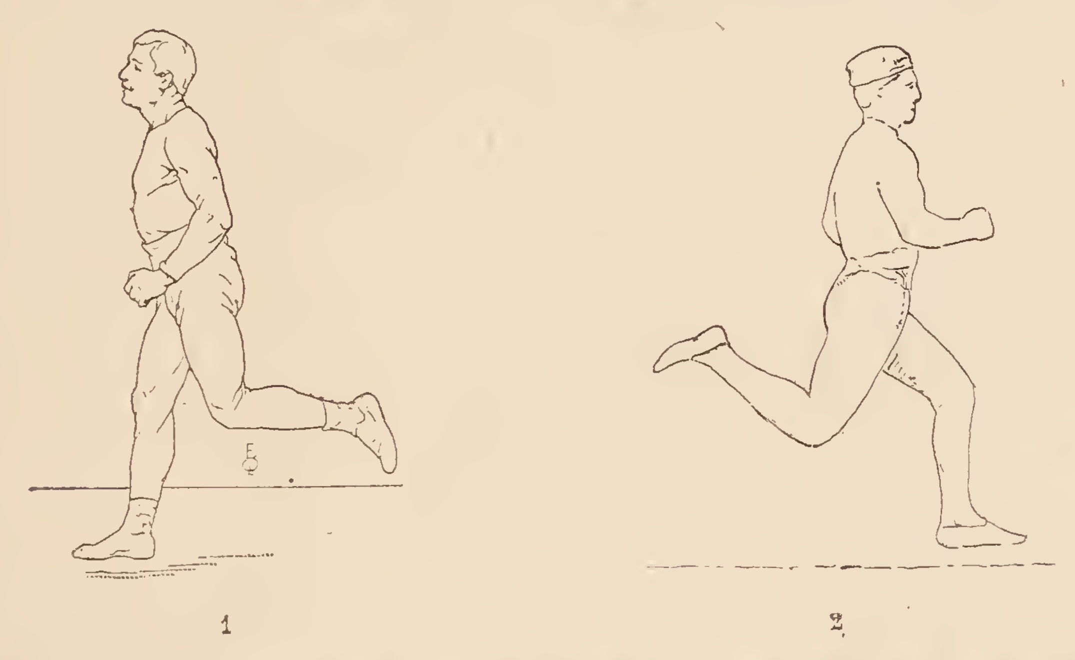


Fig. 360. — 1, Petite course gymnastique ; — 2, Course de résistance. Suspension du corps au moment où le pied va poser par la plante.

marche à la course. La transition est brusque et ne correspond pas au maximum de vitesse de la marche ni au minimum de vitesse de la course. Ce qui caractérise ce passage c'est que le double appui est remplacé dans la course par l'absence complète d'appui sur le sol. Le corps est lancé par une impulsion énergique de la jambe et à la fin de l'appui, il progresse en vertu de la vitesse acquise, comme dans un saut, jusqu'au moment du poser du pied en avant.

Cette période a reçu le nom de *suspension* du corps, nous aurons à l'examiner en même temps que l'*impulsion* et l'*appui*.

Poser du pied. — Le pied touche en général le sol par la plante, quelquefois par le talon, rarement par la pointe. La longueur du pas dépend de ces trois façons de procéder. Si le pied touche le sol par la pointe le pas est court; par la plante le pas est plus long, par le talon le pas est d'une grande longueur (fig. 360), mais il faut surtout considérer dans l'appui du pied la fonction amortissante. Au moment où le pied

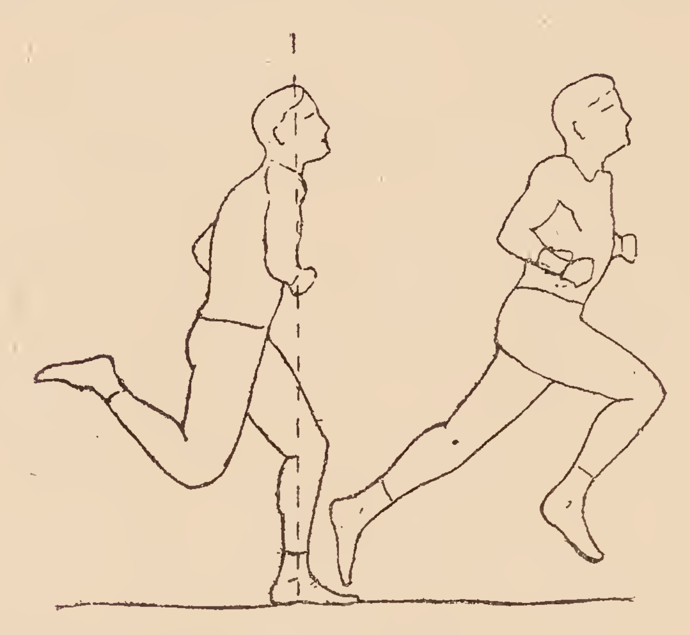


Fig. 361. — Attitudes du coureur au commencement et à la fin de l'appui du pied, montrant la flexion de la jambe au moment du poser et l'extension au moment du lever.

s'appuie, le corps vient de décrire une courbe dans l'espace, il fait en réalité une chute, et l'important c'est d'amortir le choc en le faisant supporter par des organes tendus élastiquement, il faut encore transformer cette chute en élan utile dans la période suivante de l'appui au lieu de la perdre dans un choc brutal.

Dès qu'il a touché le sol le pied se déroule complètement jusqu'à l'extrémité des métatarsiens, la face plantaire se lève presque verticalement. L'emploi de semelles longues et rigides reporte le centre de déroulement du pied à l'extrémité des orteils (fig. 361).

La jambe au moment du poser est verticale et fléchie sur la cuisse. Le genou, au moment où le rayon du membre passe par la verticale, est toujours fléchi et cela d'autant plus que la course est plus rapide. L'angle d'appui est plus petit que dans la marche et reste constant aux différentes vitesses de l'allure (fig. 362).

L'angle de lever est plus grand que dans la marche, surtout lorsque le pas est allongé. L'angle de déroulement est sensible-

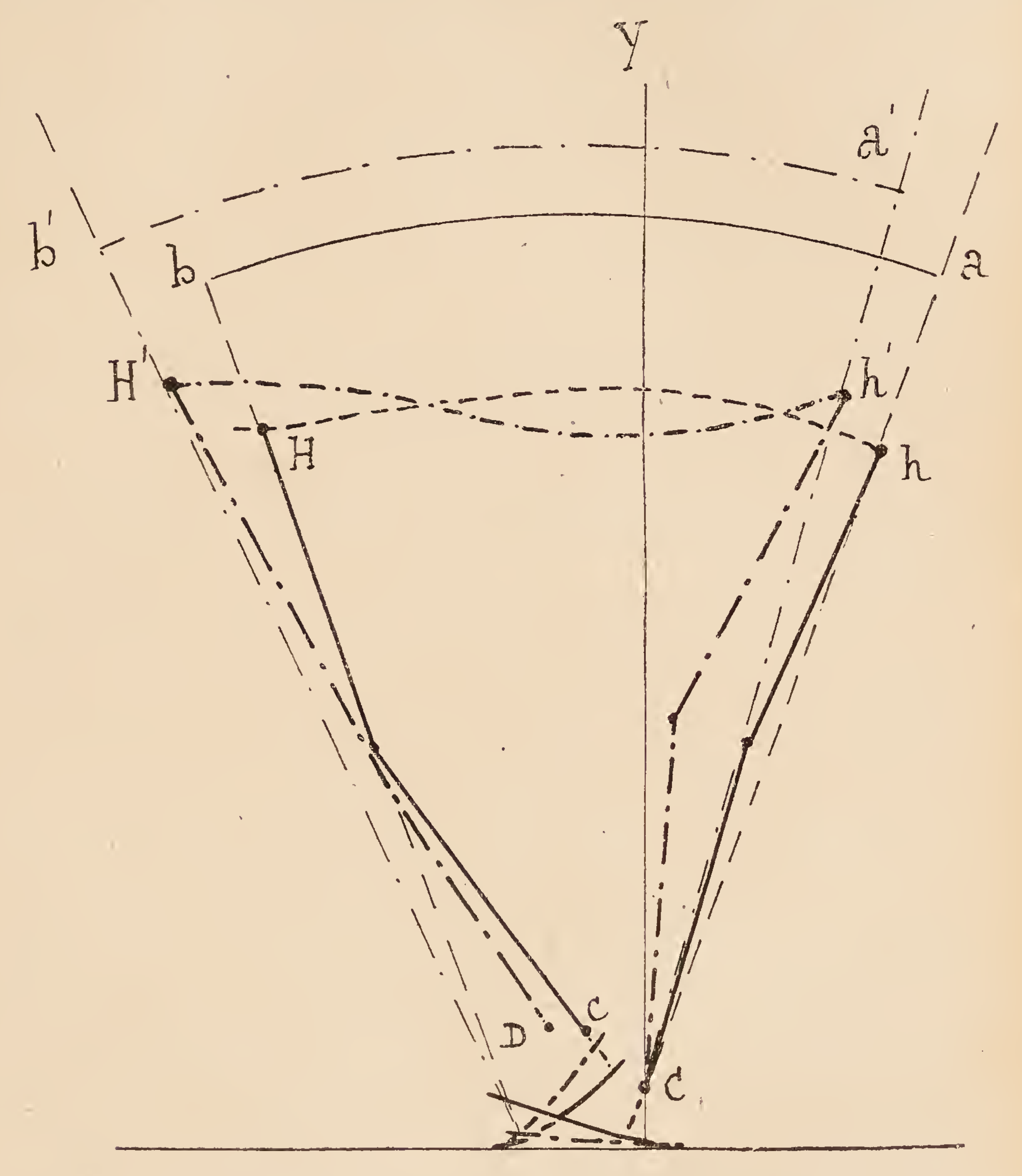


Fig. 362. — Positions et trajectoires des articulations du membre inférieur dans la marche et dans la course modérée.

h H, trajectoire de la hanche dans la marche ; — *h'* H', trajectoire dans la course ; — C Y, verticale passant par la cheville à l'appui ; — *a b*, *a' b'*, angles de déroulement.

ment le même que dans la marche ; mais en raison du temps de suspension pendant lequel le corps progresse, il n'y a pas de relation entre cet angle et la longueur du pas.

Vitesse du pied au lever. — La vitesse moyenne du pied est inférieure au double de la vitesse de progression du corps. Dans la course, en effet, la durée de la suspension du corps

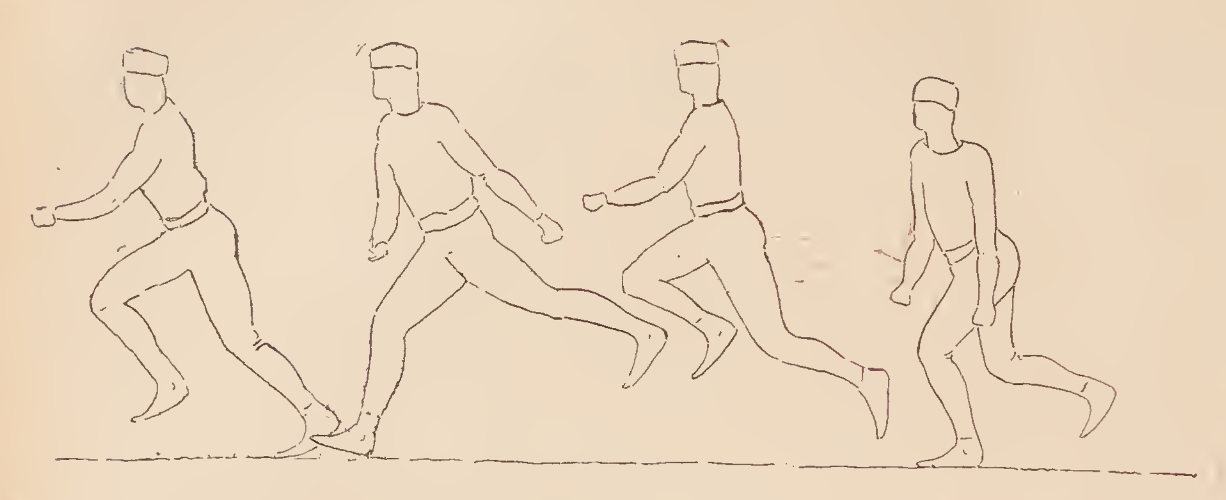


Fig. 363. — Coureur très rapide procédant par bonds et augmentant ainsi beaucoup sa longueur de pas en diminuant relativement la vitesse d'oscillation de la jambe (École de Joinville).

s'ajoute à la durée du demi-pas pour constituer celle de l'oscillation (fig. 363).

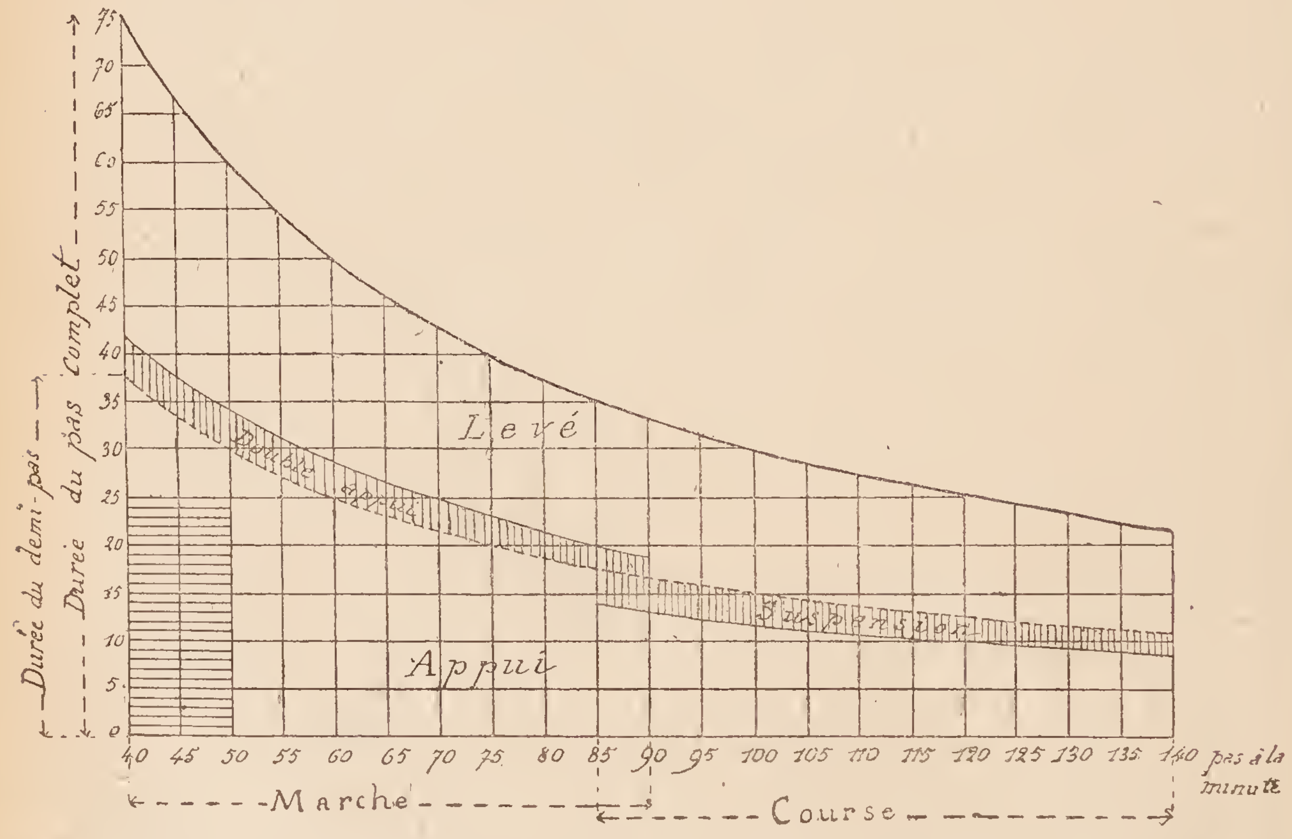


Fig. 364. — **Comparaison de la durée** de l'appui et du lever du pied, du double appui et de la suspension dans la marche et la course (Demeny).

Les ordonnées totales représentent en cinquantièmes de seconde la durée du pas, celle du demi-pas est limitée par une courbe ponctuée. Les chiffres sur la ligne des abscisses indiquent le rythme de l'allure. On voit que dans la marche, la durée de l'appui excède le demi-pas de toute la longueur du double appui. Dans la course, au contraire, la durée de l'appui est inférieure à celle du demi-pas de toute la durée de la suspension.

On s'explique alors comment, pour une même vitesse de progression, la vitesse du pied par rapport à celle de la masse du

corps est plus petite dans la course que dans la marche puisque, à cadence égale, la durée de l'oscillation est plus grande dans la course. Ces faits sont clairement indiqués dans le tableau précédent et nous montrent l'avantage des allures courues sur les allures marchées à partir d'une certaine vitesse.

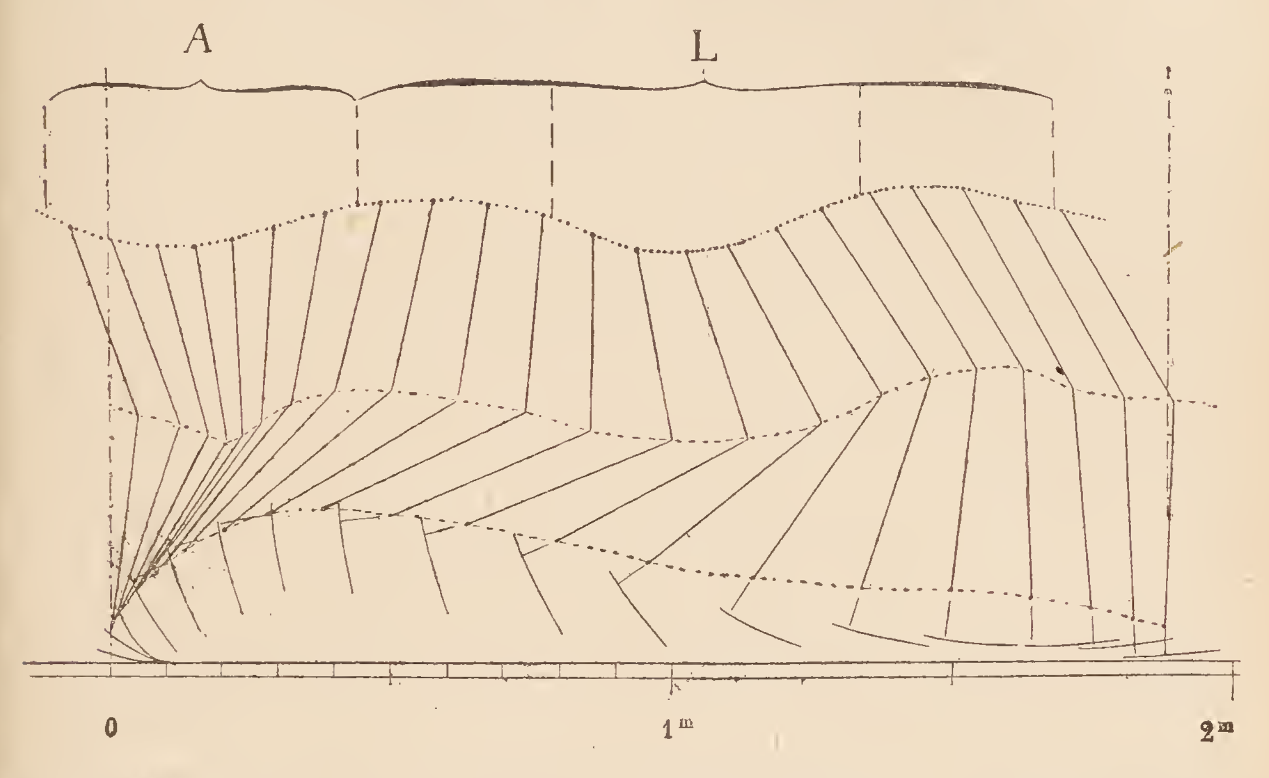


Fig. 365. — Analyse chronophotographique d'un pas de course modérée (Marey et Demeny).

A, période d'appui du pied droit ; le pied, qui avait été immobile dans la première partie de cette phase, pivote autour de sa pointe. — L, période de lever du pied ; elle se divise en trois phases : la première et la dernière correspondent à des suspensions du corps au-dessus du sol ; la trajectoire de la hanche y est convexe par en haut ; la phase moyenne correspond à l'appui du pied gauche ; la trajectoire de la hanche y est concave par en haut. Dans ces épures chronophotographiques, les vitesses se mesurent d'après l'écartement des images qui sont prises à des intervalles de temps égaux. Un ralentissement se traduit donc par un rapprochement des points sur la trajectoire, une accélération par l'écartement de ces points.

La figure 364 montre comment varient le double appui et la suspension du corps dans la marche et la course à des rythmes croissant de 5 en 5 pas entre 40 et 140 appuis d'un même pied à la minute.

Trajectoires des points remarquables du corps. — La tête décrit pendant l'appui du pied une courbe à concavité supérieure. Dans le pas complet, les trajectoires produites par l'appui alternatif des pieds sont séparées par un arc parabolique représentant la suspension et suivant les lois du saut (fig. 365).

Le ralentissement de la progression à chaque choc des pieds

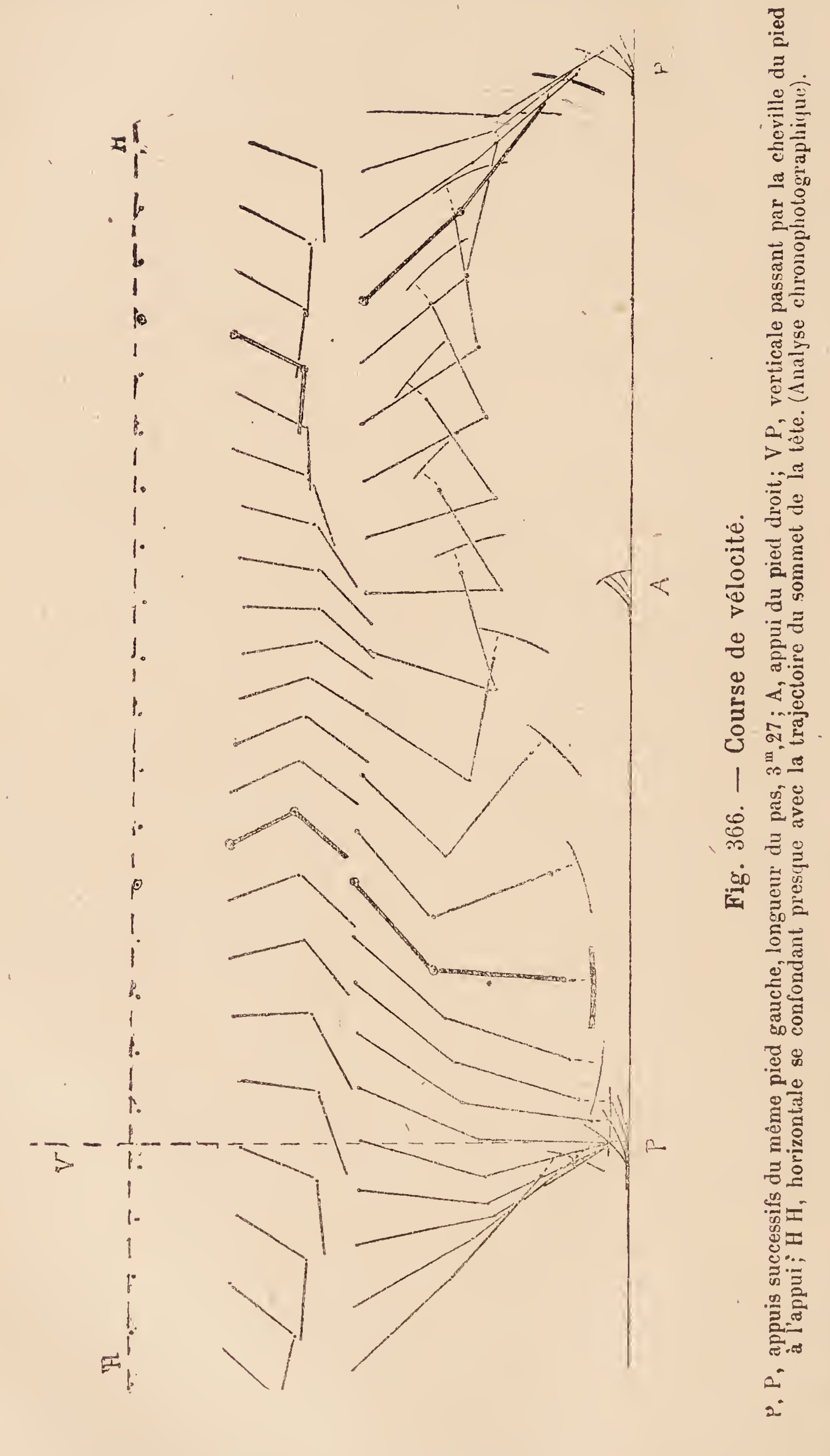


Fig. 366. — Course de vélocité.

P, P, appuis successifs du même pied gauche, longueur du pas, 3m,27 ; A, appui du pied droit ; V P, verticale passant par la cheville du pied à l'appui ; H H, horizontale se confondant presque avec la trajectoire du sommet de la tête. (Analyse chronophotographique).

sur le sol coïncide avec la concavité de la trajectoire de la tête.

Les figures 366 à 372 servent d'analyse et de comparaison de la marche avec la course (fig. 366).

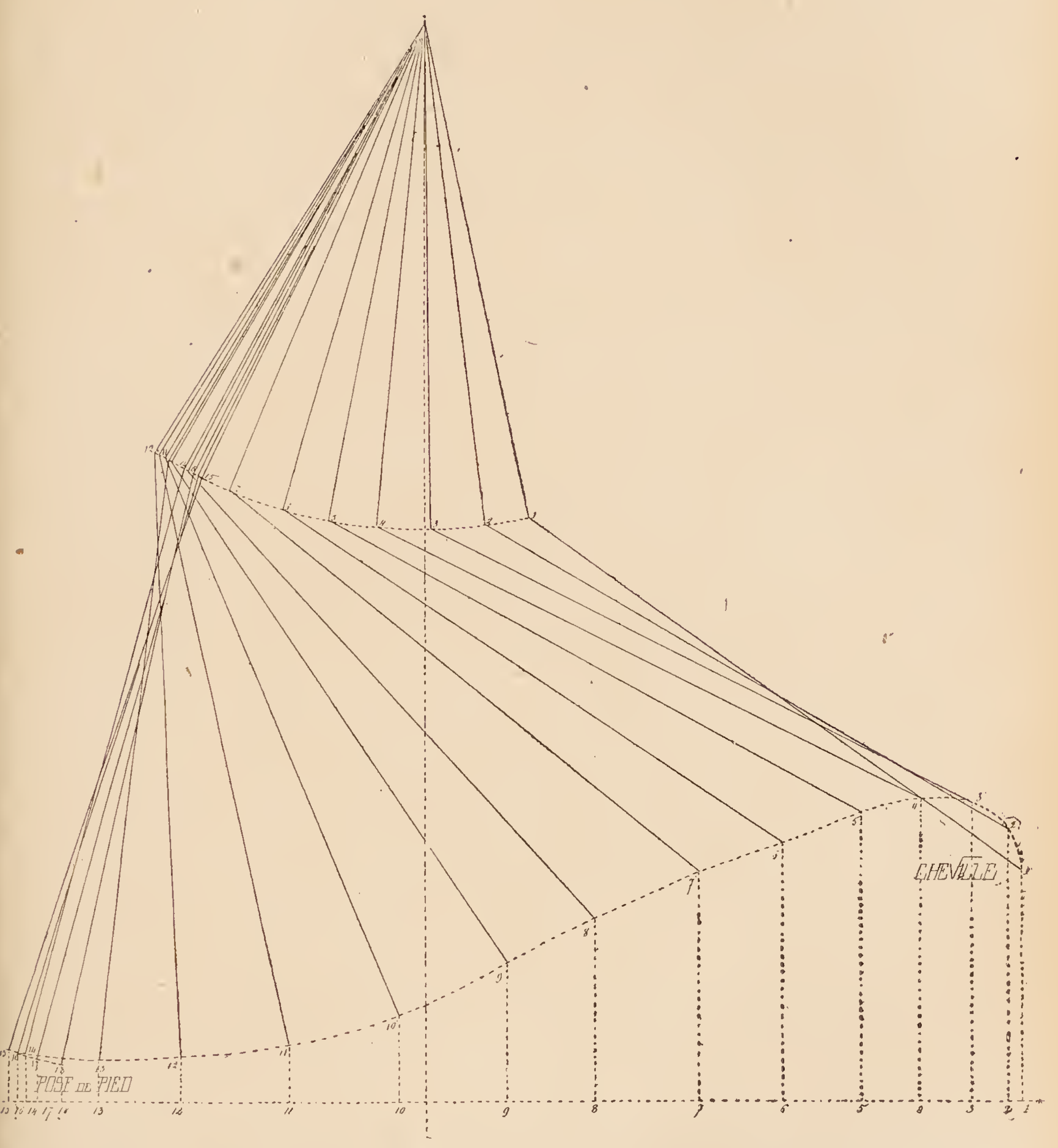


Fig. 367. — Mouvement relatif du membre inférieur par rapport au tronc dans la marche.

Projection de la vitesse sur l'horizontale. 1, lever du pied. On voit nettement la jambe se fléchir légèrement de 15, 16, 17 à 18 du poser du pied. Marche au rythme, 60. Unité de temps = 1/40e de seconde. (Comparer avec la figure 371.)

Niveau de la tête. — Le niveau moyen des oscillations de la tête est plus bas que dans la marche. L'amplitude des oscillations verticales est indépendante de la longueur du pas de course ; celles-ci tendent plutôt à diminuer d'amplitude quand le pas s'allonge (fig. 373).

L'instant du maximum de l'oscillation correspond à la suspension (fig. 365).

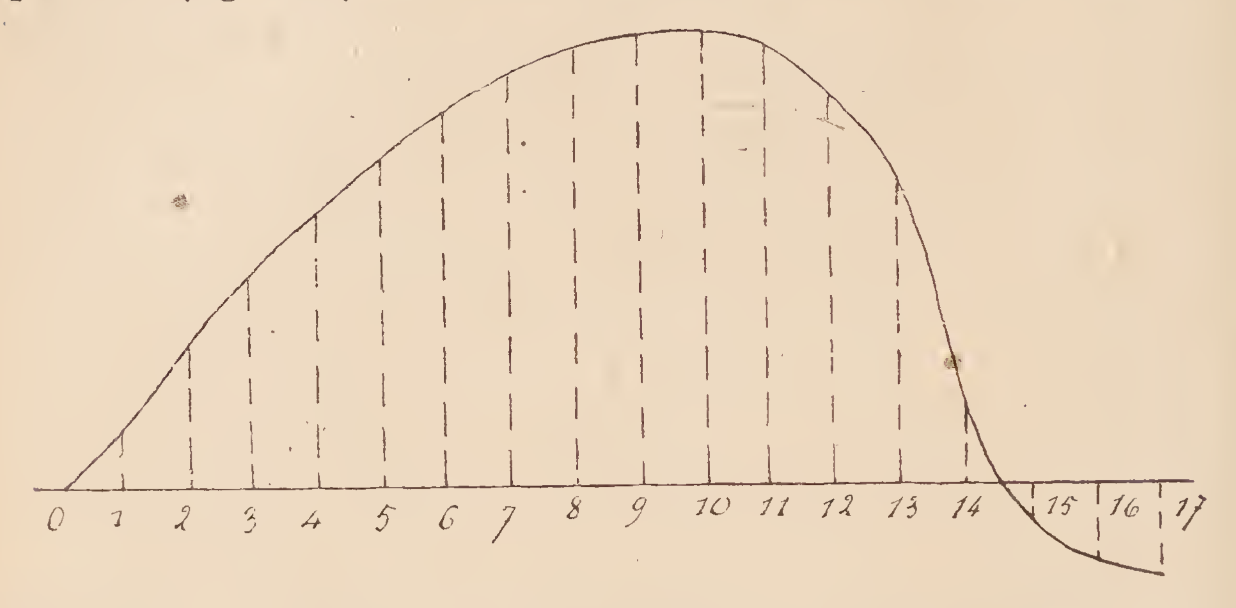


Fig. 368. — Variation de la vitesse relative du pied par rapport à la hanche dans la marche pendant le lever et projetée horizontalement. Les périodes correspondent à l'analyse cinématique de la figure 367.

Les valeurs 15, 16 et 17 de la vitesse sont négatives et correspondent au changement de sens du pied.

M. Marey, dans *La Machine animale*[1], donne l'explication suivante de la suspension dans la course.

« Le temps de suspension, dit-il, ne tient pas à ce que le corps

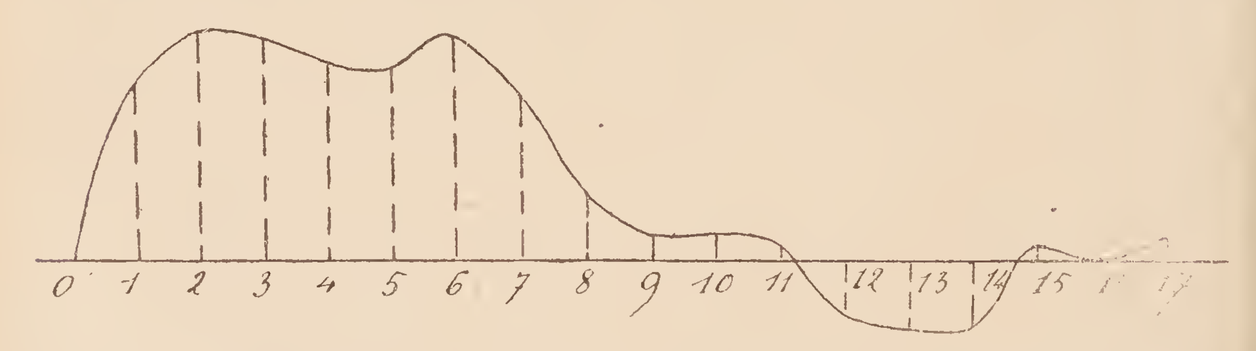


Fig. 369. — Variation de la vitesse relative du genou projetée horizontalement pendant le lever du pied et correspondant aux attitudes de l'épure 367.

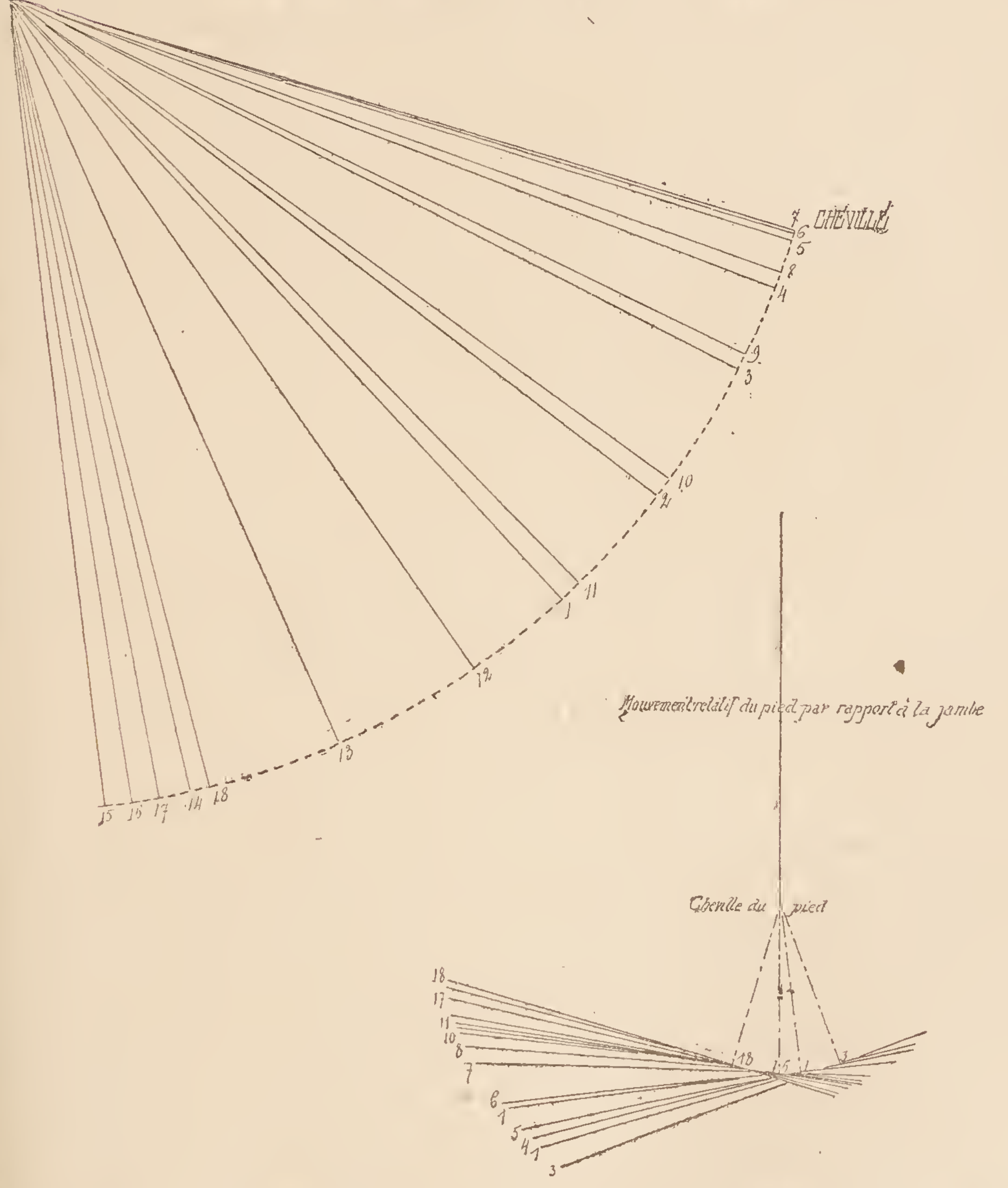
projeté en l'air, aurait abandonné le sol, mais à ce que les jambes *se sont retirées du sol*, par l'effet de leur flexion et cela au moment même où le corps était à son maximum d'élévation. »

Nous n'avons jamais été d'accord avec cette manière de voir que la plus simple expérience récuse. La photographie nous a donné raison.

1. Marey, *La Machine animale*, p. 135; Paris, F. Alcan.

L'erreur est due à la mauvaise interprétation des appareils enregistreurs. L'appareil d'exploration des réactions verticales dont s'est servi M. Marey indique seulement les différences de vitesse entre le corps et la masse de plomb. Au moment de la foulée, la vitesse verticale du corps devenant nulle, l'appareil indiquera une réaction verticale due à l'abaissement de la masse de plomb comme si le corps se relevait à ce moment.

Dans bien des cas l'observation directe peut éviter les erreurs des appareils graphiques dont l'interprétation est quelquefois fort délicate.



ig. 370. — Mouvement relatif de la jambe sur la cuisse pendant le lever ou l'oscillation de la jambe. Celle-ci se fléchit de 1 à 7, puis s'étend de 7 à 15 pour se fléchir de nouveau de 15 à 18; les chiffres correspondent à la figure 367. Mouvement du pied sur la jambe.

(Comparer avec la même analyse dans la course, fig. 372.)

La verticale qui passe par le point d'appui est toujours située en arrière du minimum d'abaissement de la hanche et à mesure que la vitesse augmente, le minimum se porte de plus en plus

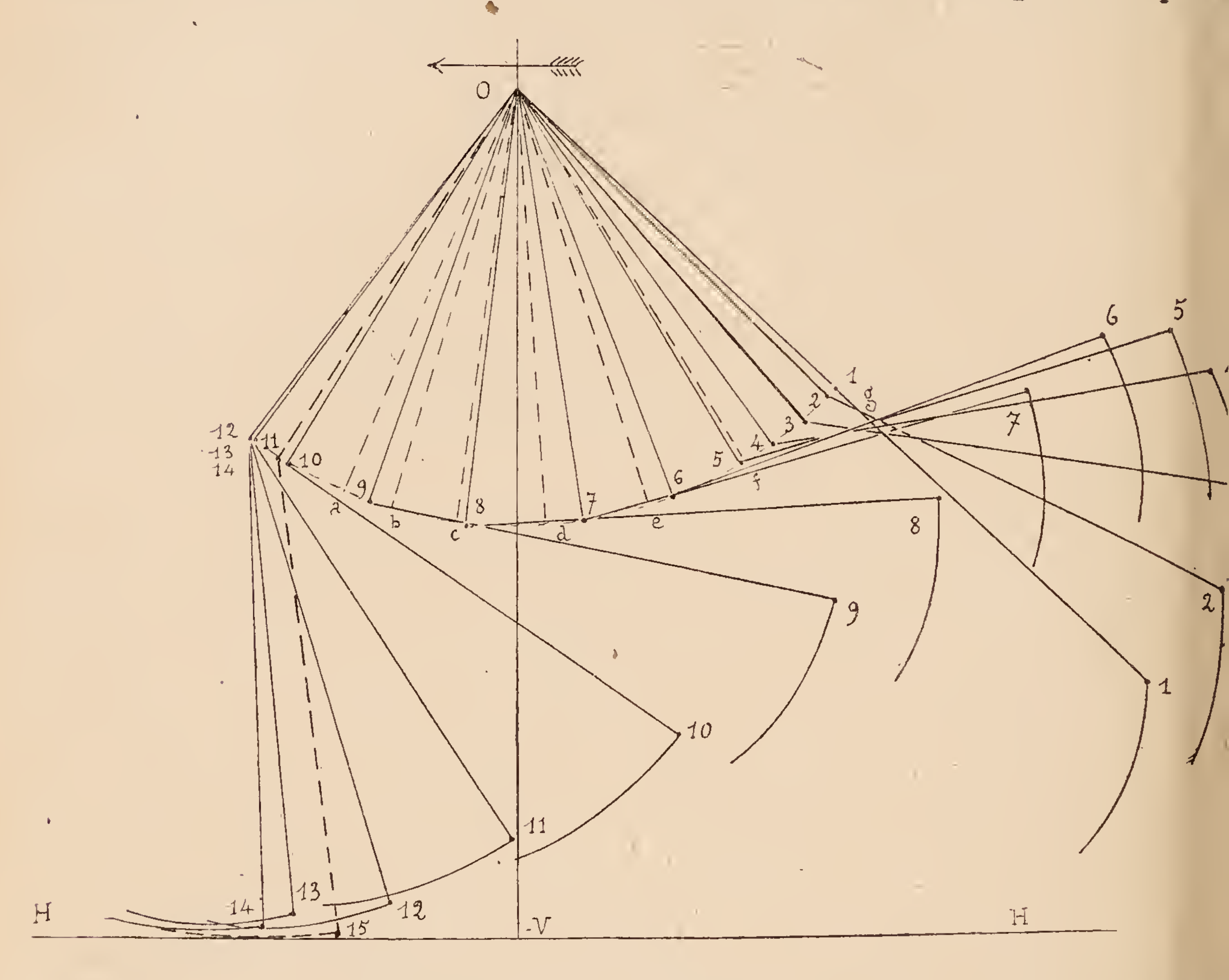


Fig. 371. — Mouvement relatif du membre inférieur par rapport au tronc dans la course. Les numéros correspondent aux positions successives du genou et de la cheville pendant le lever du pied.

Les lettres indiquent les positions du genou pendant l'appui.

en avant, cela tient à l'inclinaison de l'angle de lever dans les allures rapides.

Plus la course est rapide et le pas allongé, plus les trajectoires de la tête et du bassin tendent à se rapprocher d'une ligne droite; l'écart maximum latéral a lieu pendant l'appui, il coïncide avec le minimum d'élévation de la tête au-dessus du plan horizontal ainsi qu'avec le minimum de la vitesse horizontale de la masse du corps (fig. 366 et 374).

Angle du pied et écart des empreintes du pied. — Sa valeur est moindre que dans la marche et diminue comme l'écartement des empreintes des pieds sur le sol avec la longueur du pas; en

même temps, l'angle que forme l'axe du pied avec la ligne moyenne de progression, ou angle d'ouverture du pied, tend à diminuer aussi (fig. 375).

L'écart latéral est nul pendant le milieu de la suspension ; à ce moment la trajectoire de la tête croise la ligne moyenne de progression. Les sujets à bassin large et à jambes courtes ont, comme la femme, beaucoup de peine à courir à cause des oscillations latérales qu'ils ne peuvent éviter.

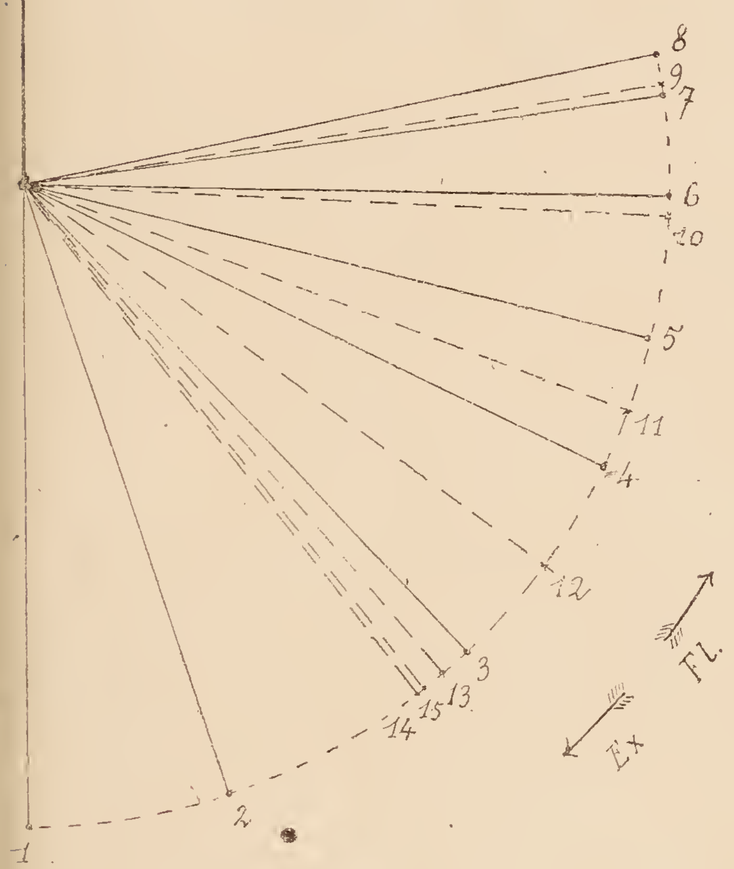


Fig. 372. — Mouvement relatif de la jambe sur la cuisse pendant la course.

1, 2, 3, 8, flexion au début du lever; — 9, 10, 14, extension; — 14, 15, léger mouvement de flexion au moment de l'appui.

Torsions du tronc. — Dans la course, la torsion du bassin est plus considérable que dans la marche; le maximum a lieu au milieu de la suspension du corps (fig. 376). La torsion est nulle au milieu de l'appui et pendant l'abaissement du corps au-dessus du sol. Elle diminue avec la rapidité de l'allure. Les figures 377 montrent chez un coureur photographié d'en haut, les torsions du corps et les mouvements correspondants des bras. Le mouvement des épaules est inverse du mouvement des hanches, il peut aller jusqu'à 45° dans la course au milieu de la suspension du corps. La torsion des épaules est nulle en même temps que celle du bassin quand les bras passent par la verticale, elle augmente avec la vitesse de progression (fig. 378 et 379).

Les mouvements des hanches et des épaules dans un plan vertical sont extrêmement faibles dans la course, ils deviennent tout à fait nuls dans la course rapide. La ligne des hanches

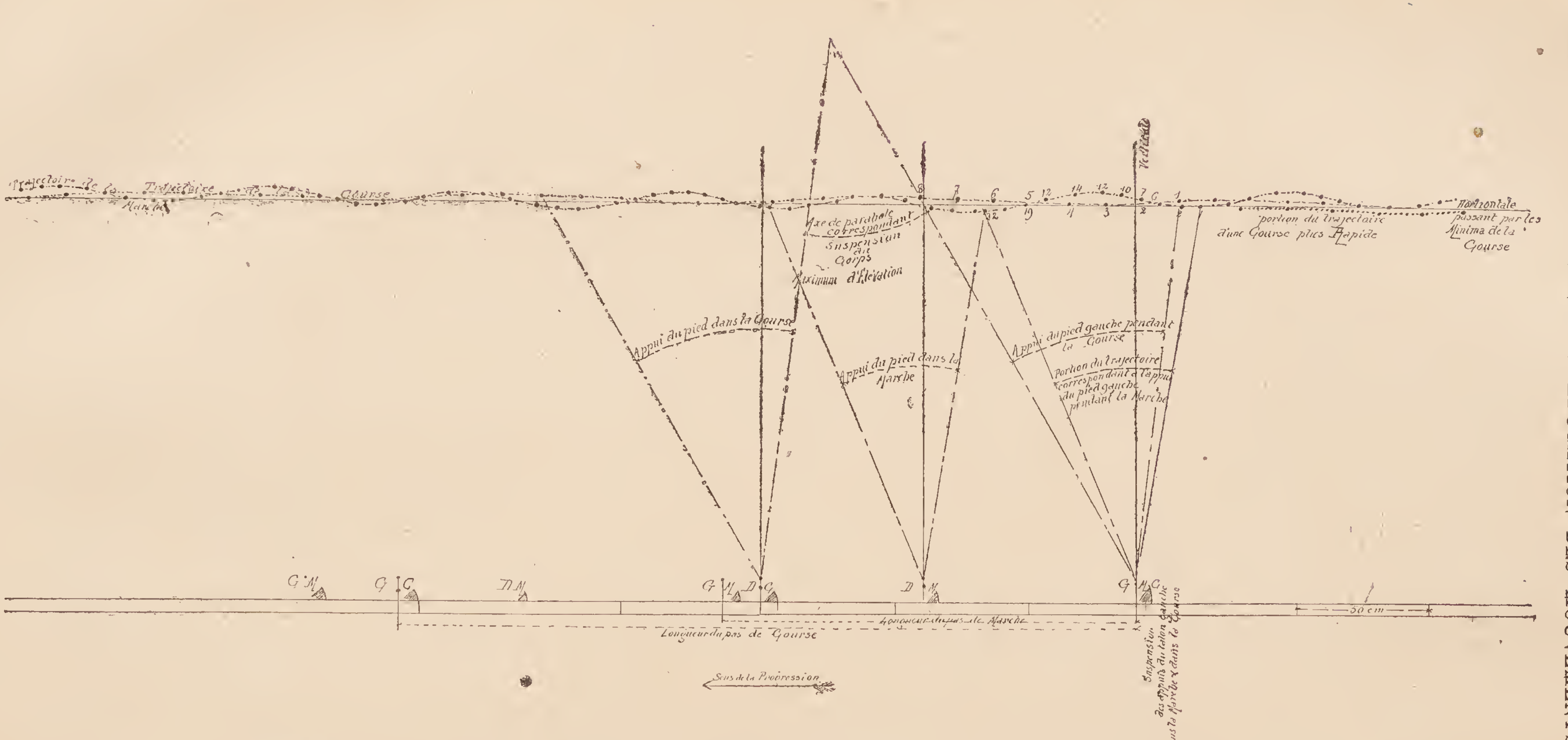


Fig. 373. — Comparaison de la trajectoire de la tête dans la marche et dans la course.

G, D, indique appui du pied gauche ou du pied droit. M, C, marche ou course : on voit la trajectoire plus tendue dans la course que dans la marche. Le niveau moyen de la tête s'abaisse avec la rapidité de la course et les oscillations diminuent. On voit les angles de déroulement, les portions de trajectoires et les longueurs de pas correspondant à la marche et à la course. Marche au rythme 65. Course, 135. Echelle divisée en 50 cent.

s'abaisse, et la ligne des épaules se relève du côté de la hanche suspendue, dans les allures très modérées (fig. 373).

Inclinaison du corps. — Le corps s'incline en avant pendant le commencement de l'appui du pied et en arrière pendant la fin de l'appui. L'inclinaison s'exagère avec la longueur du pas mais n'excède pas 5 degrés dans les allures ordinaires (fig. 380).

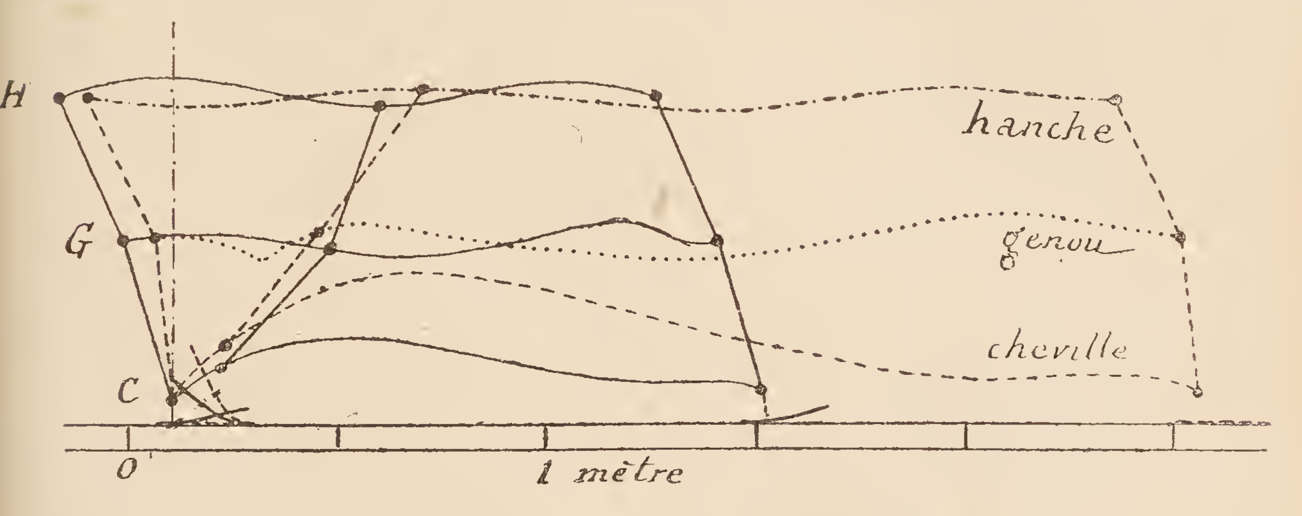


Fig. 374. — Attitudes, longueur de pas et angle de déroulement du membre inférieur droit dans la marche et dans la course.

Les lignes ponctuées correspondent à la course.

Degré de flexion des bras et des pieds avec la vitesse. — Plus l'allure est rapide plus les bras se fléchissent, ceci afin d'éviter d'être gêné par leur oscillation. Certains coureurs même placent les bras horizontalement (fig. 381) et leur font suivre seulement le mouvement de torsion des épaules.

Plus l'allure est rapide, plus le pied se soulève de terre (fig. 382 et 383). Certains coureurs arrivent ainsi à faire toucher du talon la partie basse des fessiers. La figure 384 nous montre la forme des trajectoires de la cheville à différentes allures, on voit que le pied rase le sol avant de se poser. La flexion de la jambe pendant l'oscillation facilite la rapidité de transport du pied en avant. L'abaissement de la trajectoire de celui-ci au moment du poser empêche le choc de se produire et ces deux actes contribuent beaucoup à l'économie de la force (fig. 385).

Appui du pied, pression sur le sol. — L'appui du pied se divise en deux phases distinctes. Dans la première phase l'action est

retardatrice et amortissante, elle est dirigée en sens inverse de

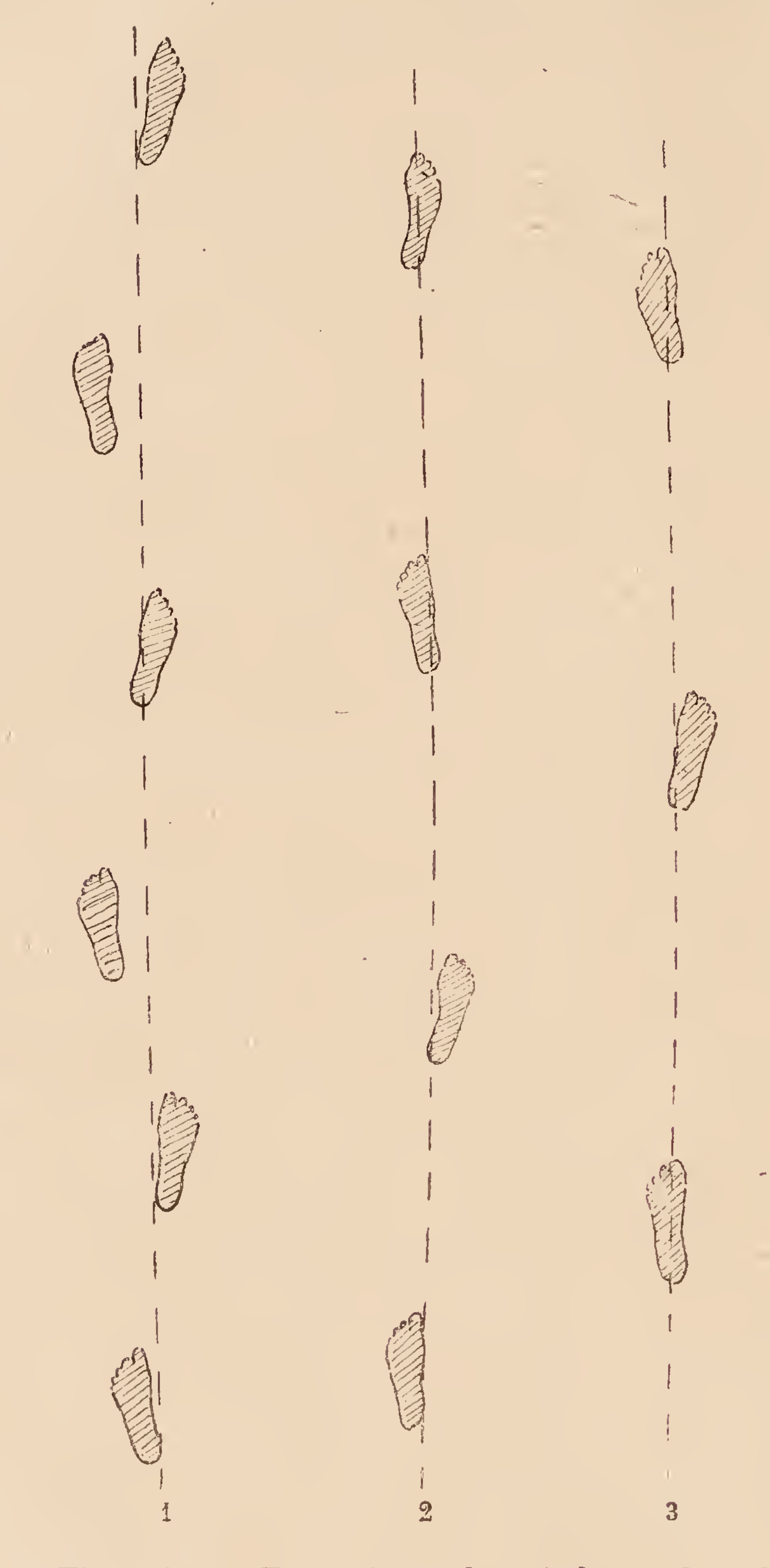


Fig. 375. — Empreintes des pieds sur le sol.

1, dans une marche ; 2 et 3, dans des courses de plus en plus vives. On voit l'axe du pied se rapprocher de la ligne de progression.

la progression, elle diminue d'intensité jusqu'au passage du rayon du membre par la verticale.

A ce moment le membre inférieur soutient seulement le poids du corps, mais cela dure extrêmement peu, sitôt que le rayon a dépassé la verticale, l'action impulsive commence (fig. 386).

La pression normale du pied n'a qu'une seule courbure et un



Fig. 376. — Attitudes successives d'un coureur photographié sur une même plaque à 1/10e de seconde d'intervalle et vu d'en haut.

Fig. 377. — Images successives d'un coureur vu d'en haut.

On a dissocié les images en laissant les figures 1 et 3 à leur vraie place, et en reportant la figure 2 à gauche et la figure 4 à droite.

seul maximum toujours supérieur à la ligne du poids du corps et grandissant avec la rapidité de l'allure (fig. 387 et 388).

Pression tangentielle. — La pression tangentielle est négative au moment du poser puis devient positive au moment de l'impulsion (fig. 389), sa valeur grandit également avec la rapidité de l'allure.

Rôle amortisseur des muscles. — Les actions musculaires mises en jeu dans les deux phases consécutives de l'appui sont

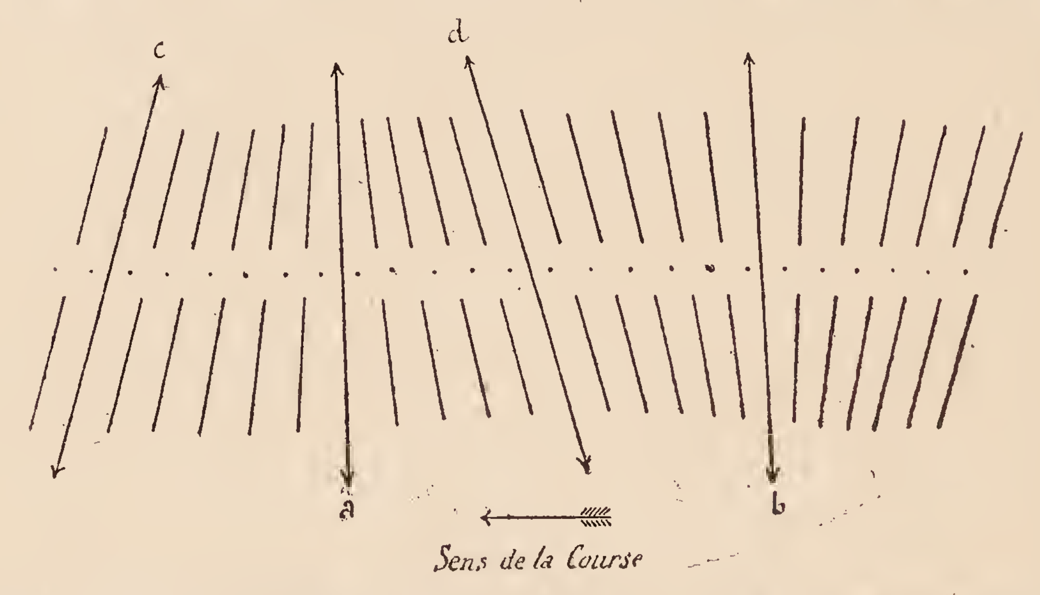


Fig. 378. — Mouvement de torsion du tronc dans la course mesuré par l'analyse chronophotographique.

principalement localisées dans les muscles extenseurs. Dans la première phase les extenseurs résistent à la flexion des segments en se laissant étirer, en faisant du travail négatif, puis ils exécutent un effort statique de courte durée; ils produisent enfin du travail positif dans la seconde phase de l'appui.

On voit ici le rôle des muscles antagonistes signalé antérieurement; les extenseurs antagonistes de la flexion entrent en contraction bien avant que l'extension se manifeste. Ils sont déjà dans un état de tension considérable au moment où le mouvement change de sens; ils utilisent ainsi l'effort résistant qu'ils ont opposé à la flexion. Il leur aurait fallu un certain temps pour acquérir une tension aussi considérable s'ils étaient partis de l'état de relâchement, et ils n'ont pour agir utilement qu'une fraction de la durée de l'appui, 14 à 8 cinquantièmes de seconde environ, il y a tout avantage à ne rien perdre de ce temps déjà si restreint[1] (fig. 386).

1. G. Demeny, *Archives de Physiologie*.

Longueur du pas et vitesse de progression. — La longueur du pas de course croît toujours à mesure que la cadence s'accélère. La vitesse de progression augmente également avec la rapidité

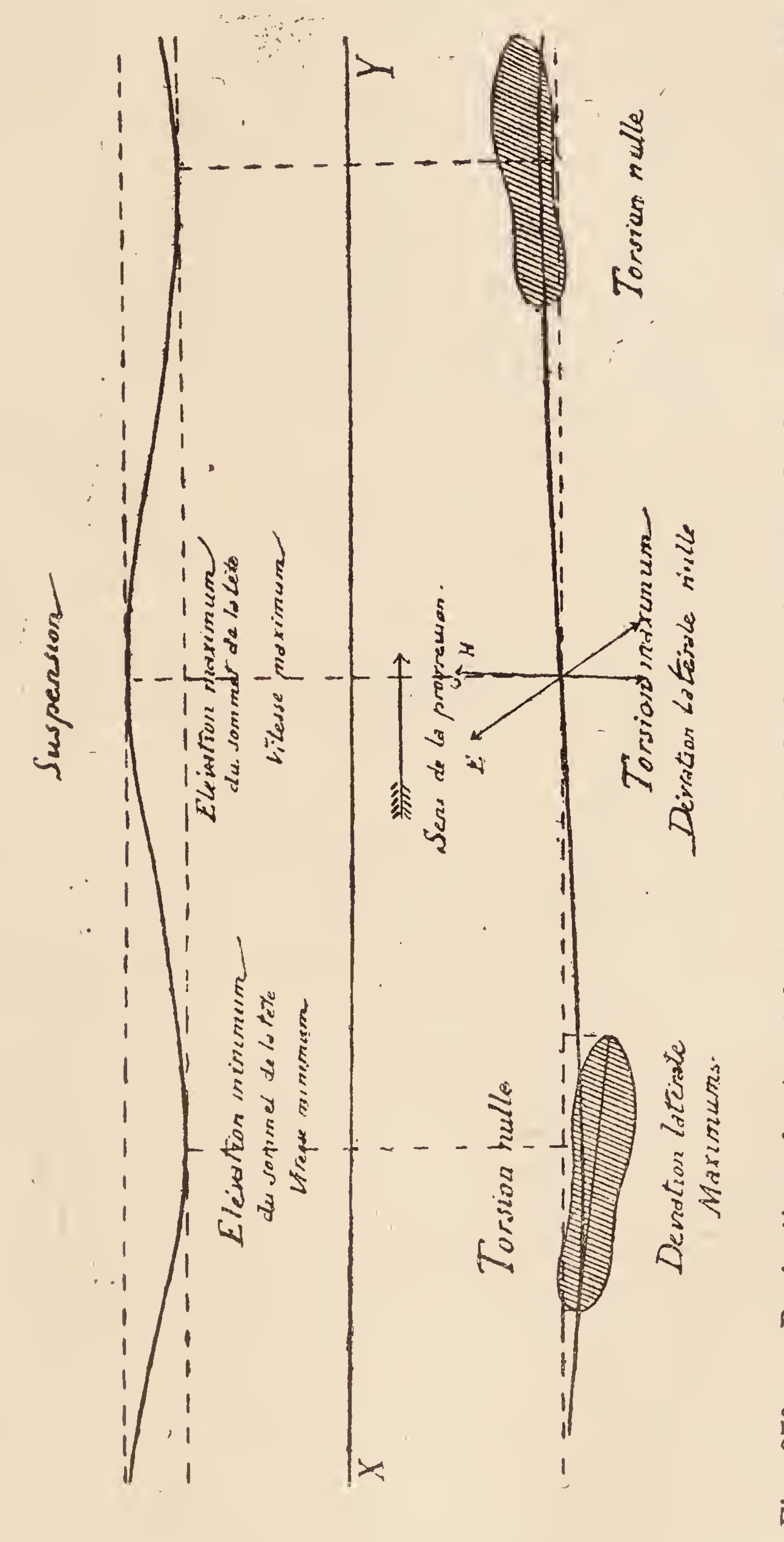


Fig. 379. — Projections horizontale et verticale de la trajectoire de la tête d'un coureur montrant, par comparaison avec la figure 323, les différences entre les divers mouvements du tronc dans la marche et la course.

de la cadence et tend vers un maximum qui est à peu près 11 mètres à la seconde.

Le pas de course est plus long que le pas de marche, sa durée est plus petite. Il varie de $1^{m},50$ à $3^{m},40$ et de 70 à 41 cen-

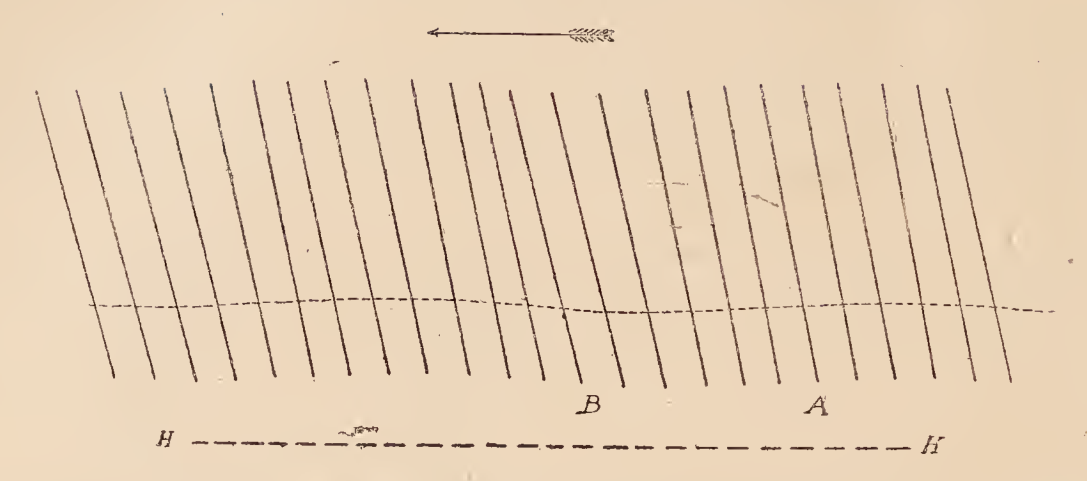


Fig. 380. — Figure montrant les inclinaisons du tronc dans la course.

La ligne ponctuée représente la trajectoire du sommet de la tête ; H, H, horizontale. Les attitudes correspondent à des intervalles de temps de 1/50e de seconde.



Fig. 381. — Coureurs fléchissant les bras pour éviter leur balancement rapide, devenu impossible par la vitesse de la cadence (d'après photographies de Muybridge).

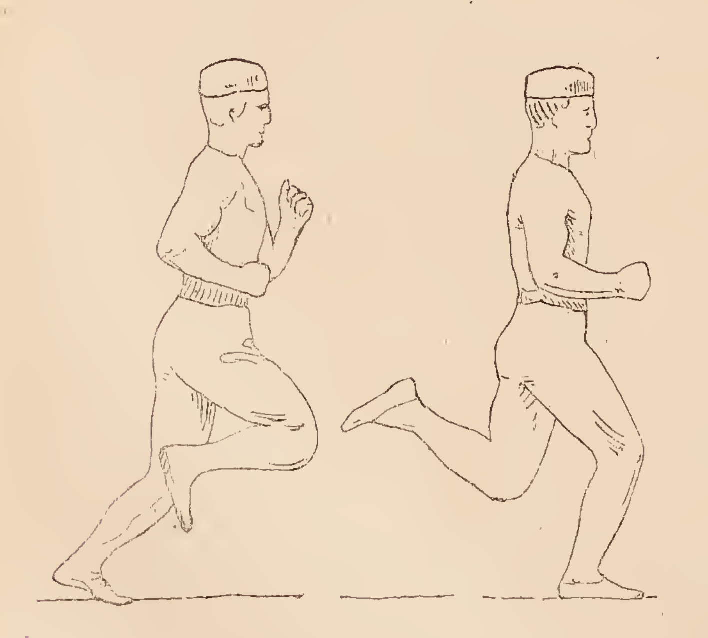


Fig. 382. — Photographies de coureurs montrant le degré de flexion de la jambe pendant l'appui et le lever du pied.



Fig. 383. — Attitude du coureur quand le rayon du membre à l'appui passe par la verticale.

tièmes de seconde (voir fig. 322). La grande longueur de pas dans la course ne tient pas seulement à l'écartement des jambes comme dans la marche mais à l'espace parcouru pendant la suspension; le tableau (fig. 364) montre comment varie la durée de celle-ci à différents rythmes. Le pas de course dépend aussi de la longueur du pied et de son complet déroulement sur le sol.

Comme pour la marche un terrain glissant diminue la longueur du pas; un terrain meuble agit de même en absorbant une partie du ravail de l'impulsion.

La taille élevée donne une longueur de pas plus grande pour des déplacements angulaires égaux des membres. L'inclinaison du tronc n'est pas nécessaire à la grande rapidité de la course. Nous avons étudié de grands coureurs qui restaient le corps vertical dans les plus grandes vitesses, cependant la résistance de l'air oppose un obstacle sérieux à la progression, on ne peut la diminuer qu'en s'inclinant un peu.

Fig. 384. — Comparaison des trajectoires décrites par la cheville du pied pendant le lever dans la marche et la course, à des rythmes variant de 40 à 135 pas à la minute.

C V, course de vélocité; — *Ch*, cheville au moment du poser; l'élévation des courbes indique le degré de flexion de la jambe. La longueur du pas est donnée par les distances entre les deux posers représentés par les points. Marche de 40 à 80. Course de 95 à 140.

Allures de parade. Allures de fond et allures vives. — Les allures courues à des rythmes lents vulgairement appelées pas gymnastique sont des allures de parade, mais tout à fait défectueuses au point de vue de l'effet

utile qu'on peut en attendre. On est obligé de sauter presque sur place à de grandes hauteurs (voir fig. 360) pour utiliser le temps long qui sépare deux posers successifs des pieds. Nous verrons combien ces grandes réactions verticales absorbent de travail sans rien utiliser au point de vue de la vitesse de progression. Quand l'allure s'accélère jusqu'au rythme 105 les réactions verticales diminuent et la vitesse augmente sans pour cela demander plus d'effort (fig. 322).

La véritable cadence d'une course de résistance est 105 à 115 pas à la minute. On n'y voit plus ces sauts sur place, mais une impulsion oblique de la jambe qui utilise l'extension de la jambe pour progresser.

Chez les vieillards, les sujets affaiblis, les femmes on constate la fréquence des allures sautées, les chevaux usés sont dans le même cas; c'est qu'il est moins dur d'étendre la jambe

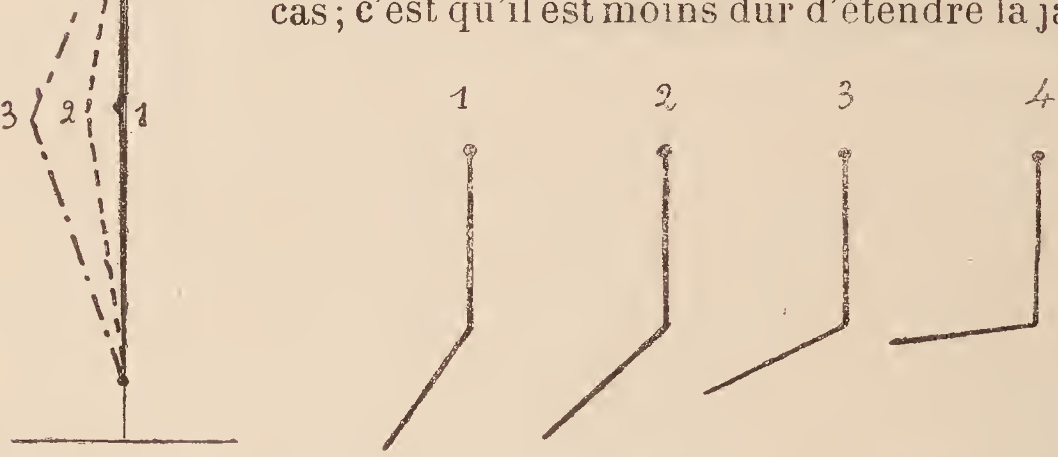


Fig. 385. — Degrés de flexion du membre inférieur et du membre supérieur suivant la rapidité de l'allure.

1, Marche lente ; — 2, Marche vive ; — 3 et 4, Course.

à l'appui quand elle passe par la verticale que de l'étendre obliquement. Cette dernière manière est la seule bonne pour faire de la vitesse horizontale, mais elle demande une grande force musculaire. Cette obliquité et cette force d'impulsion sont poussées à l'extrême au moment où le pied quitte terre chez les coureurs de vitesse (fig. 391 et 396).

Plus le rythme de la course s'accélère plus la force impulsive doit s'accroître avec la longueur du pas et le travail produit augmente toujours.

Au delà du rythme 120, la course n'est plus une allure de fond que l'on puisse soutenir longtemps car elle demande des efforts croissant très vite avec la vitesse. Pour augmenter sa

vitesse d'une petite quantité il faut dépenser d'autant plus de

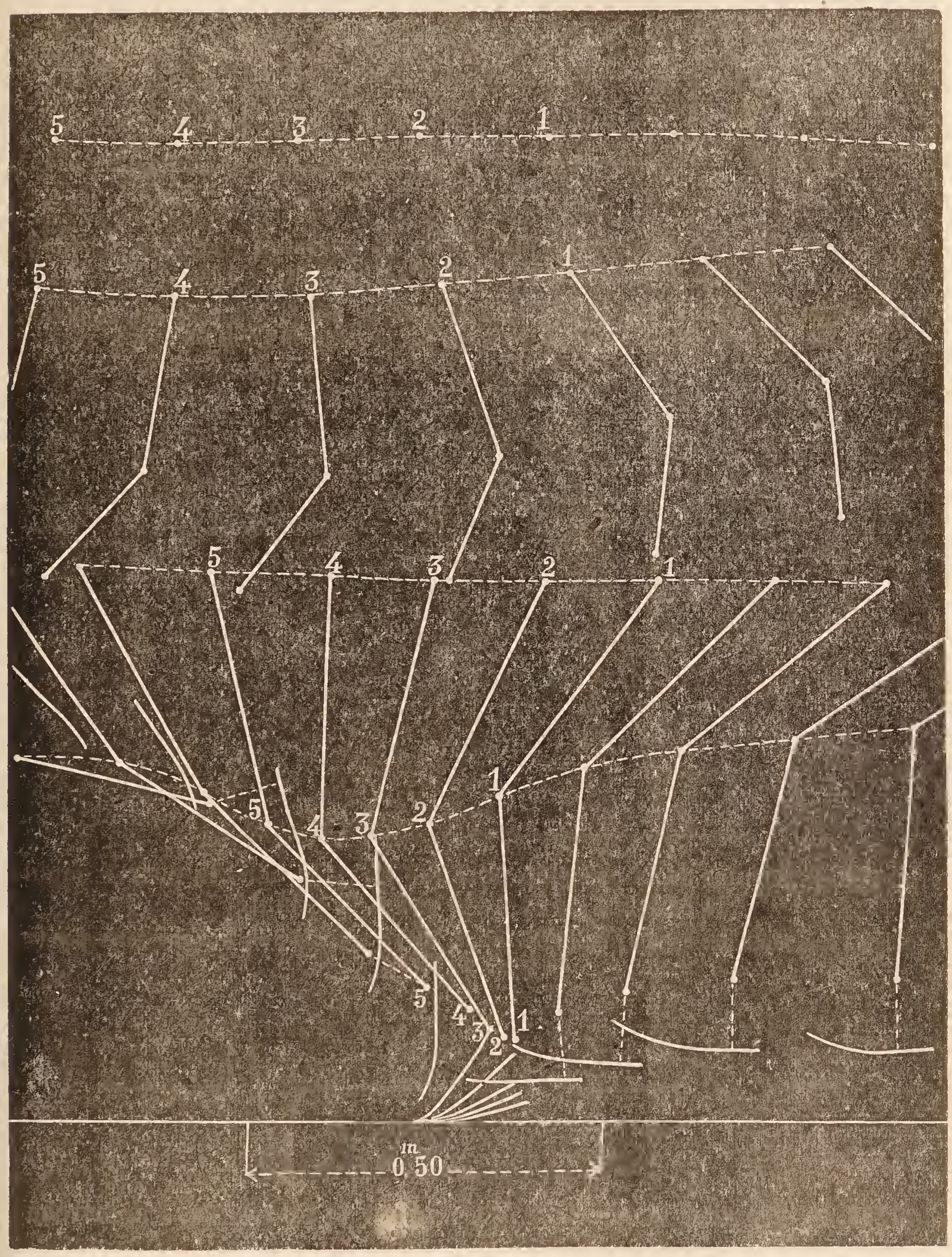


Fig. 386. — Analyse du mouvement du membre inférieur pendant l'appui du pied dans une course vive.

1, 2, 3, phase d'amortissement ; — 3, 4, 5, phase impulsive.

travail qu'on a déjà une vitesse plus grande.

C'est pour cette raison qu'il y a une limite à la vitesse d'un coureur. 10 à 11 mètres à la seconde sont presque un maximum.

Ces vitesses ne peuvent être raisonnablement soutenues que

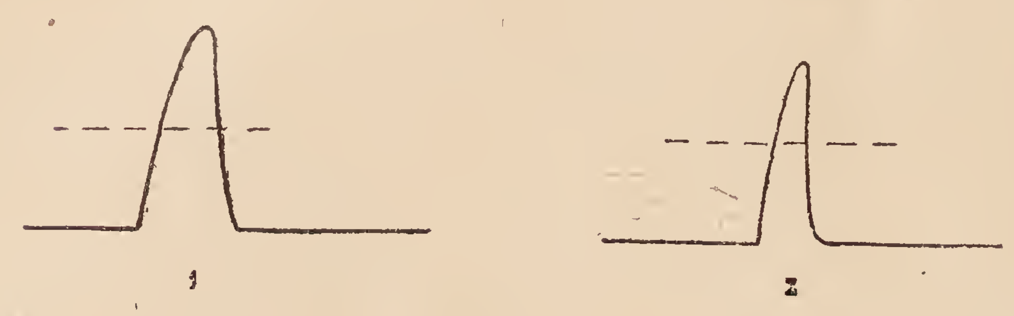


Fig. 387. — Courbe dynamographique de la pression normale du pied : 1, Pas gymnastique ; — 2, Pas de course vive.

On s'explique la hauteur plus grande dans le premier par la grandeur des oscillations verticales du tronc. La ligne ponctuée est la ligne de poids du corps.

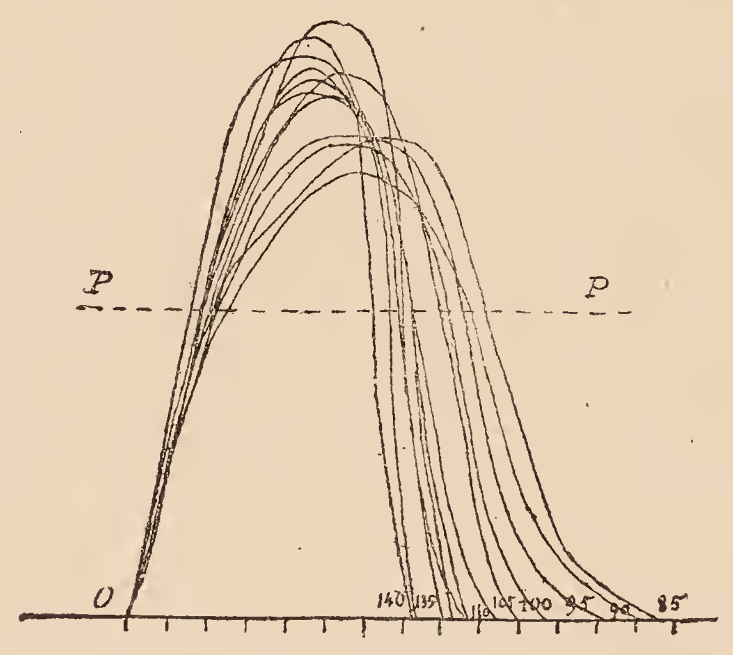


Fig. 388. — Formes de la pression normale du pied dans la course depuis la cadence de 85 à 140 pas à la minute.

O, origine commune des appuis ; unité de temps, 40e de seconde ; P, P, ligne correspondant au poids du corps.



Fig. 389. — Pression tangentielle du pied sur le sol : 1, dans la marche ; 2, dans la course.

On voit la pression être d'abord négative, ce qui indique une action du pied en sens inverse de la progression au moment de l'appui.

pendant un temps très court : 10 à 13 secondes pour une centaine de mètres parcourus. Il y a lieu de faire à ce sujet une distinction très nette entre les courses de fond et les courses de vélocité si l'on veut éviter des accidents.

Dans les courses de vélocité où l'on donne tout ce que l'on peut donner d'effort, la longueur du pas dépasse 3m,50, pendant 10 à 13 secondes le sujet ne respire pas ; nous avons déjà montré plus haut que cet effort permanent ne peut impunément être prolongé.



Fig. 390. — Pas gymnastique ; appui d'un pied.

La longueur du pas est obtenue par une poussée énergique qui dure un peu plus d'un dixième de seconde et pendant laquelle l'extension du membre est complète.

Nous avons vu l'attitude du coureur à la fin de l'appui du pied (fig. 391) quand tout le déroulement s'est effectué et qu'il ne touche plus le sol que par l'extrémité des orteils. La longueur du pas dépend surtout de cet allongement complet bien plutôt que de l'extension exagérée de la jambe au moment du poser. Cependant.

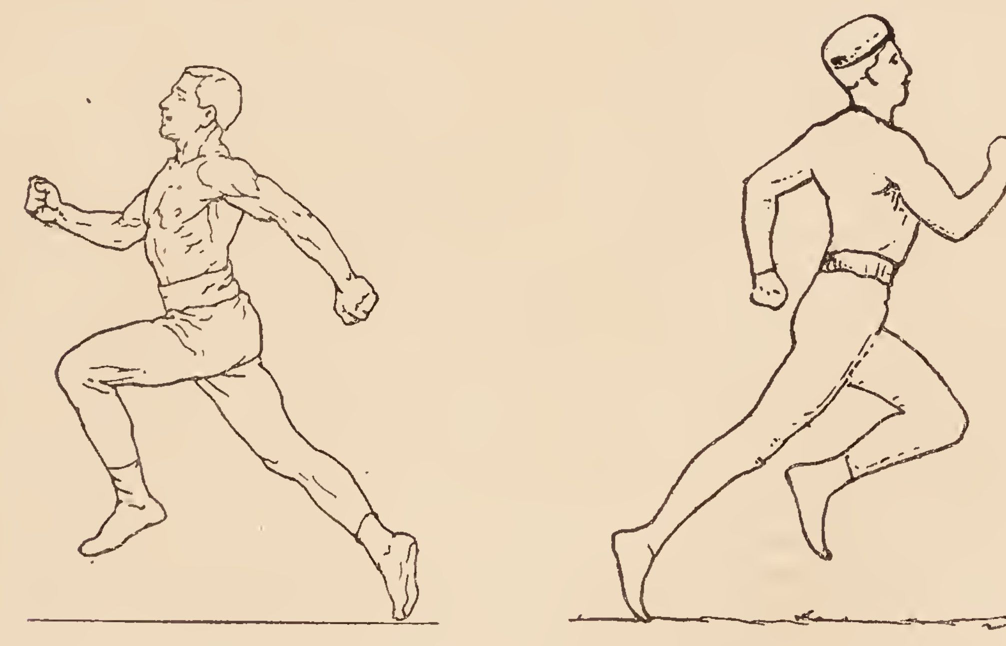


Fig. 391. — Attitude du coureur à la fin de l'appui du pied montrant l'obliquité de la jambe et du pied donnant l'impulsion du corps avant la suspension.

comme dans la marche, la longueur du pas dépend de la manière dont on pose le pied à terre. Si on pose la pointe la première, le pas est forcément raccourci (fig. 392) parce qu'on doit plier en même temps la jambe. Si on pose le talon le premier le pas est allongé il est vrai (fig. 393), mais il y a des

inconvénients sérieux à procéder de cette façon. Le choc du pied au moment du poser est alors très considérable et la jambe portée en avant ne fait que ralentir la vitesse de pro-

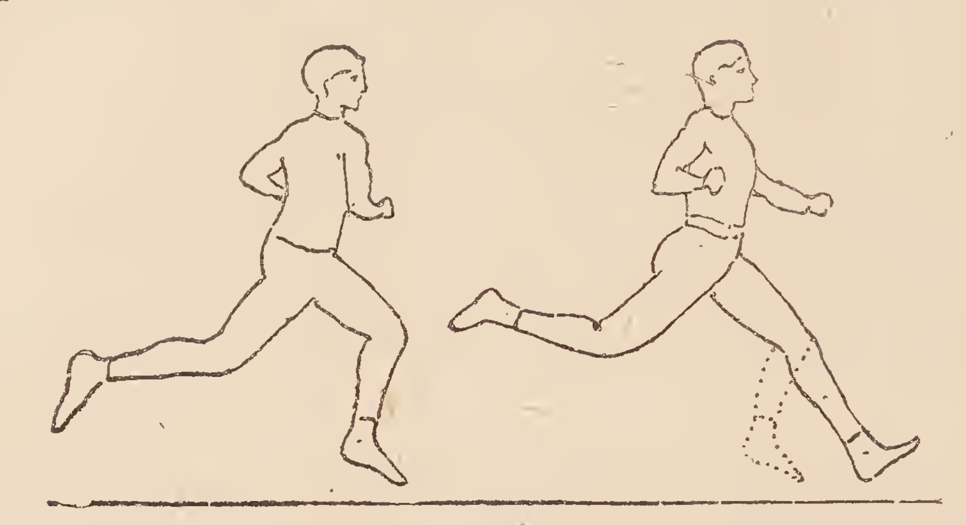


Fig. 392. — Montrant le raccourcissement du pas lorsqu'on pose le pied par la pointe dans la course.

La figure de droite indique l'allongement en posant le pied par le talon.

gression en effectuant un travail résistant nuisible et perdu. Si le sol est glissant cela deviendrait très dangereux.



Fig. 393. — Attitudes d'un coureur à la fin de l'appui et au moment du poser du pied par le talon.

La meilleure manière est de poser le pied à plat, la jambe est alors verticale (fig. 394) fléchie sur la cuisse, le choc est supporté par les muscles extenseurs, le corps toujours en arrière de la verticale passant par l'appui du pied. Les artistes peintres et surtout les sculpteurs semblent ignorer cette attitude bien qu'elle soit la seule caractéristique de la vitesse. Presque toujours l'attitude du coureur est prise sur un modèle dans

une position stable, c'est une pose mais non une course (fig. 395). Le corps ne peut jamais être verticalement placé au-dessus du pied à l'appui et à plus forte raison penché en avant; où trouverait-il un appui en avant pour éviter la chute. Ces représentations du coureur au lieu d'être expressives sont singulièrement fausses et vous donnent un sentiment de gêne inexprimable. Quand le corps passe au-dessus du pied la jambe qui est en arrière est alors portée déjà en avant (fig. 383 et 396) pour se préparer au choc du poser, le corps est penché en avant au départ de la course (fig. 400) et lorsque l'on pousse une voiture devant soi (fig. 397).



Fig. 394. — Coureur en suspension; le pied va poser à plat.



Fig. 395. — Représentation conventionnelle et fausse du coureur.

Organisation favorable a la marche et a la course. — L'organisation la plus parfaite pour la marche, la course, le saut est celle qui présente un développement relativement considérable des organes essentiellement moteurs, les autres organes dont

la masse est inutile ou même nuisible demeurant d'un développement relativement moindre.

Ainsi l'homme apte à la marche et à la course est en général



Fig. 396. — Mêmes attitudes que dans les figures précédentes chez un autre sujet.

On voit nettement le pied poser à plat la jambe verticale ; le corps est en arrière du pied et le pied lève après son déroulement complet, la semelle verticale, la jambe complètement étendue sous une inclinaison de 45°.

un sujet de taille moyenne, d'un poids de 60 à 70 kilog. ; il est dépourvu de graisse ; les muscles de ses membres inférieurs

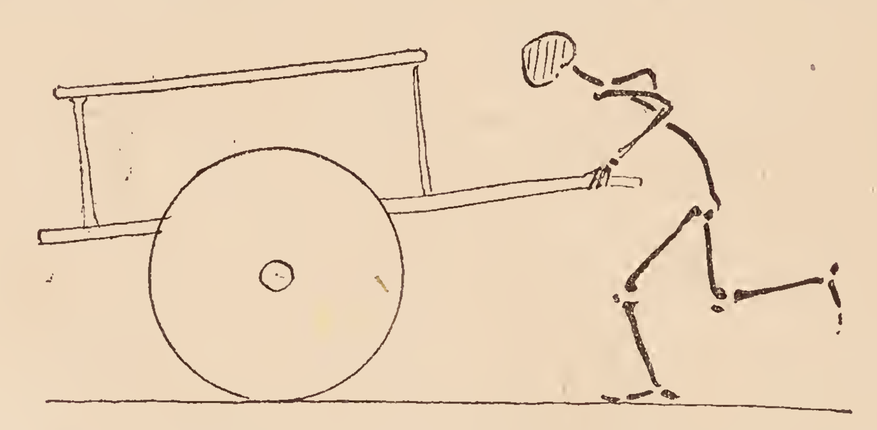


Fig. 397. — Attitude penchée en avant du coureur poussant une voiture devant lui.

sont relativement plus développés que ceux des membres supérieurs et du tronc.

On conçoit en effet que ceux-ci deviennent pour lui une charge inutile. Comme il demande la force impulsive à l'extension des segments de ses membres inférieurs, les muscles du

mollet, ceux de la partie antérieure de la cuisse ainsi que les fessiers sont bien développés, mais il ne faut pas croire cependant qu'un développement excessif de ces régions soit nécessaire et même utile à l'homme qui n'a qu'à mouvoir son propre poids sur une route horizontale. Quand le membre à l'appui a fini de donner son impulsion, il doit être rapidement porté en avant dans la période du lever du pied. Cet acte semble très

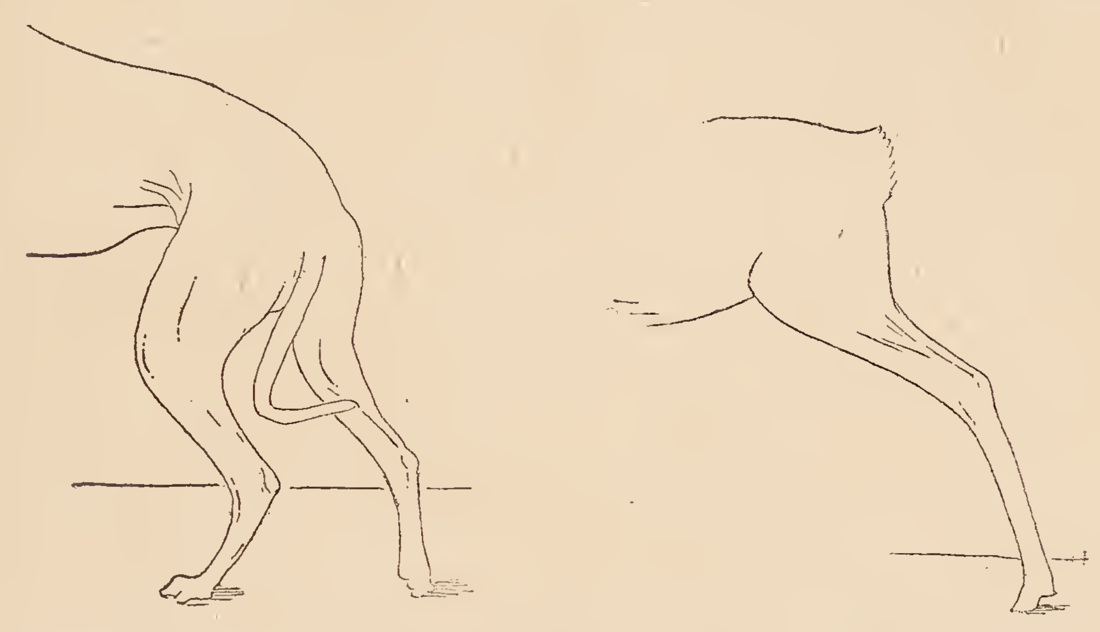


Fig. 398. — Forme des membres impulsifs chez les animaux de vitesse (*Lévrier* et *Cerf*).

aisé à accomplir, grâce à la pesanteur qui tend à faire osciller la jambe d'arrière en avant. Cela est vrai pour les cadences de la marche et de la course qui se rapprochent de la durée de l'oscillation libre de la jambe (une demi-seconde environ), c'est-à-dire pour le rythme de 55 pas à la minute. Mais, pour les cadences plus vives que présente la course, cadences qui excèdent 140 à 145 pas à la minute, la durée de l'oscillation de la jambe devient bien inférieure à la demi-seconde, elle tombe au-dessous de deux dixièmes de seconde, comme le montre le tableau ci-dessus (fig. 364).

Le coureur doit donc, en course de vélocité, ramener son pied en avant dans un temps presque moitié moindre. La pesanteur l'aide alors bien peu dans cet acte, et pour vaincre l'inertie de son membre tout entier, il doit faire un effort musculaire de flexion de la cuisse qui est d'autant plus intense que la masse de son membre inférieur est plus grande. C'est pourquoi il est vraisemblable que pour des allures très vives, il n'est pas

avantageux pour un coureur d'avoir les jambes trop massives.

La gazelle, le chien lévrier, l'autruche, le cheval de course, ces animaux coureurs par excellence, n'ont-ils pas leurs membres grêles et leurs masses musculaires importantes, celles

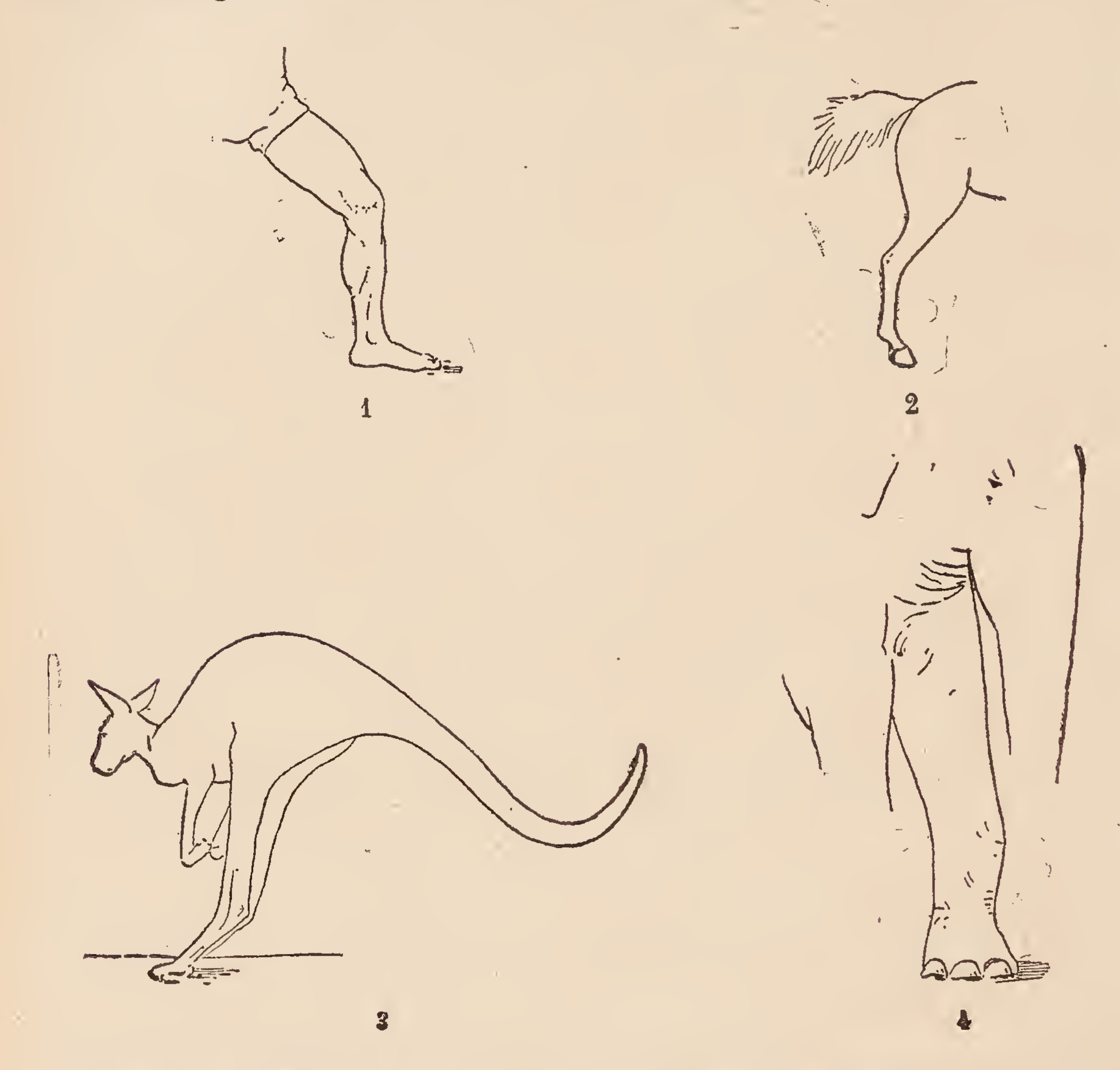


Fig. 399. — Différentes formes des membres inférieurs chez l'homme, le cheval, le kanguroo et l'éléphant.

qui sont nécessaires à l'oscillation, reportées près des centres du mouvement là où la vitesse est minimum (398 et 399).

Ce qu'il faut au marcheur et au coureur qui est débarrassé de toute charge inutile, ce sont de longs segments pour se donner de la vitesse, absolument comme pour les locomotives express, il faut des roues de grand diamètre.

Il y a avantage pour lui à être bien fendu, à avoir de longues jambes, mais il doit posséder surtout la force musculaire suffisante pour allonger au maximum ses segments pendant la dernière phase de l'appui.

Il y a avantage pour le coureur à avoir le pied long et même

à l'allonger un peu au moyen de ses semelles. Toutes les conditions qui réduisent le déroulement du pied sont mauvaises au point de vue de la progression.

Le coureur, pour résister à la fatigue, doit avoir de bons poumons. Cela indique une bonne capacité respiratoire et surtout une bonne manière de respirer.

Nous avons en d'autres endroits appuyé sur l'importance de



Fig. 400. — 1, Départ de la course ; — 2, Arrêt de la course
On voit l'inclinaison du corps en sens inverse.

cette coordination des mouvements respiratoires et sur l'avantage qu'il y a à régler le rythme des inspirations et expirations sur le rythme même de l'allure. Tout consiste à exécuter volontairement de grandes inspirations lentes en une ou plusieurs fois suivant la cadence de la course ; on évite ainsi les troubles de la circulation pulmonaire qui sont la véritable cause de l'essoufflement, et l'on arrive bientôt à un régime régulier qui peut se continuer pendant longtemps.

Entre la dépense occasionnée par le travail musculaire pendant la course et la réparation due à une bonne circulation et à une respiration libre, il s'établit alors un équilibre parfait par la pratique d'un entraînement spécial. De cet équilibre dépendent les grandes qualités de fond qui sont la véritable qualité du coureur.

Cette dernière qualité est donc une qualité acquise par l'entraînement et l'éducation plutôt qu'une qualité de structure venant de naissance. (Voir respiration après la course : *L'École française.*)

Départ de la course. — Il nous reste à dire quelques mots du départ, de l'arrêt dans la course et des transitions de la marche à la course et de la course à la marche.

On part de la position fendue, le corps fortement penché en avant afin d'acquérir toute la vitesse possible au début. Dans



Fig. 401. — Départ de la course montrant l'inclinaison du corps dans la direction de la progression.



Fig. 402. — Arrêt de la course, montrant l'inclinaison du corps en sens inverse de la progression.

les records de vitesse où une faute première suffit pour faire perdre du terrain, il est important d'obtenir le maximum d'accélération, au premier coup de jarret (fig. 400), le mouvement de départ est facilité par une chute du corps en avant accélérée encore par l'impulsion de la jambe en arrière (fig. 401).

Certains coureurs américains partent même de la position à quatre pattes et s'élancent de cette position d'un bond formidable ; ils gagnent dès le premier pas une certaine longueur de terrain.

Arrêt de la course. — L'arrêt de la course vive est caractérisé par un effort résistant des jambes pour annuler la vitesse acquise. C'est lajambe en avant qui lutte à chaque instant contre cette vitesse et produit une action retardatrice sur la masse du corps. Ce dernier est fortement penché en arrière pour faire agir la pesanteur en sens inverse de la progression (fig. 402).

Il faut un certain nombre de pas pour annuler la vitesse de la course et au fur et à mesure du ralentissement de l'allure le corps se redresse peu à peu pour être tout à fait vertical au moment de l'arrêt.

Nous voyons combien les représentations fantaisistes des

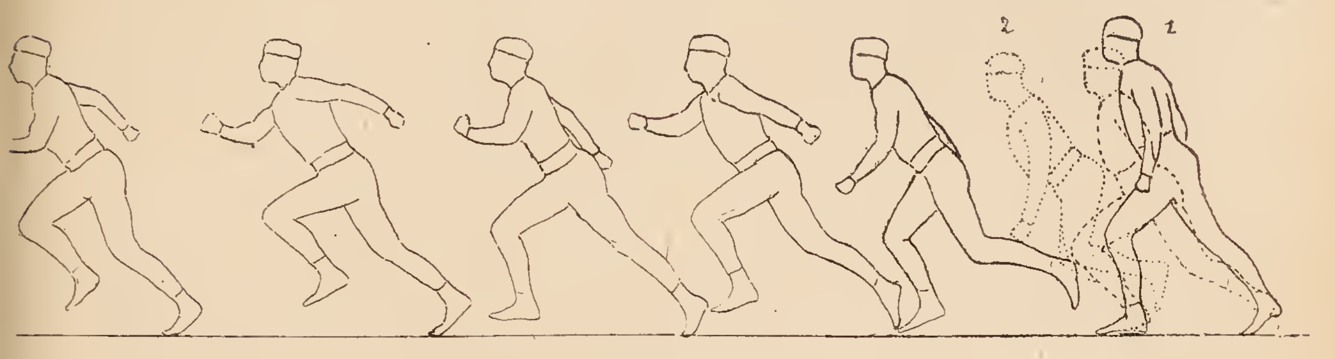


Fig. 403. — Départ de la course.

L'espacement des images indique l'accroissement de la vitesse. La poussée du membre inférieur est inclinée dans le sens de la progression.

artistes diffèrent de la réalité ; représenter un coureur penché en avant lorsqu'il arrive au but c'est avoir bien peu regardé la

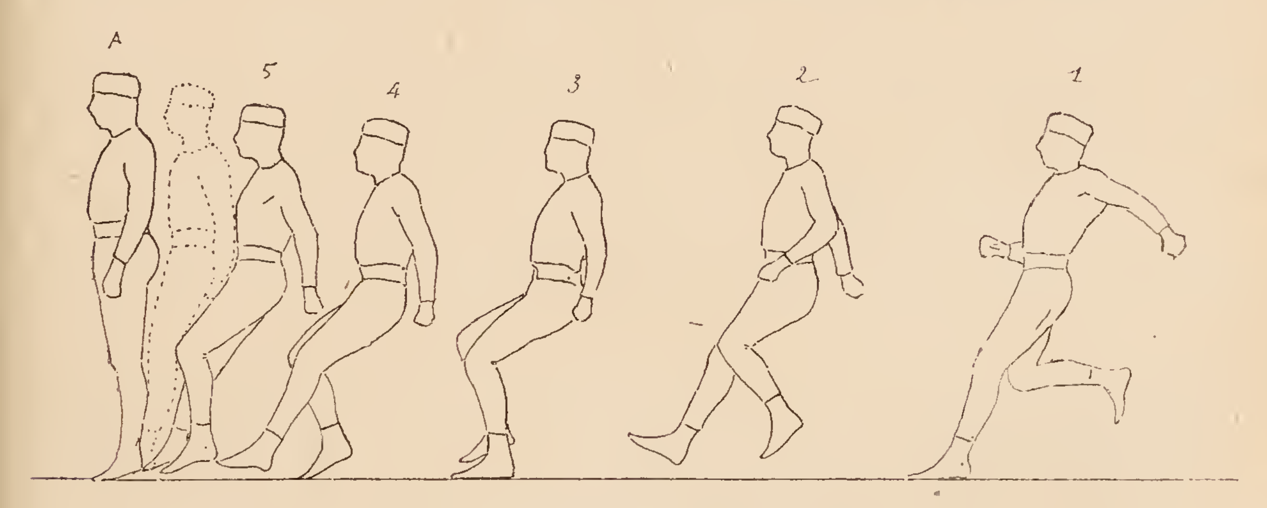


Fig. 404. — Coureur s'arrêtant.

On voit l'inclinaison du corps en arrière et l'action retardatrice de la jambe en avant pour arriver à l'immobilité en A. Les chiffres indiquent l'ordre des images successives. La poussée du membre inférieur est inclinée en sens inverse de la progression et le poids du corps diminue sa vitesse.

nature ou ignorer singulièrement le mécanisme du corps humain. Le sujet représenté (fig. 395) non seulement ne s'arrête pas, mais il ne court même pas, il tombe.

Les figures 403 et 404 sont des analyses chronophotographiques du départ et de l'arrêt de la course.

Changement de direction dans la course. — L'inclinaison du corps indique le sens de l'accélération du mouvement ; ainsi un

coureur lancé en avant, veut-il revenir sur ses pas sans s'arrêter, il se penche en arrière fait agir une force constante pour retarder son mouvement, lorsque sa vitesse est nulle il se retourne toujours le corps incliné, il repart ensuite dans la direction opposée avec la même force constante qui devient alors accélératrice (fig. 405).

Nous avons construit la courbe de la vitesse de la tête dans

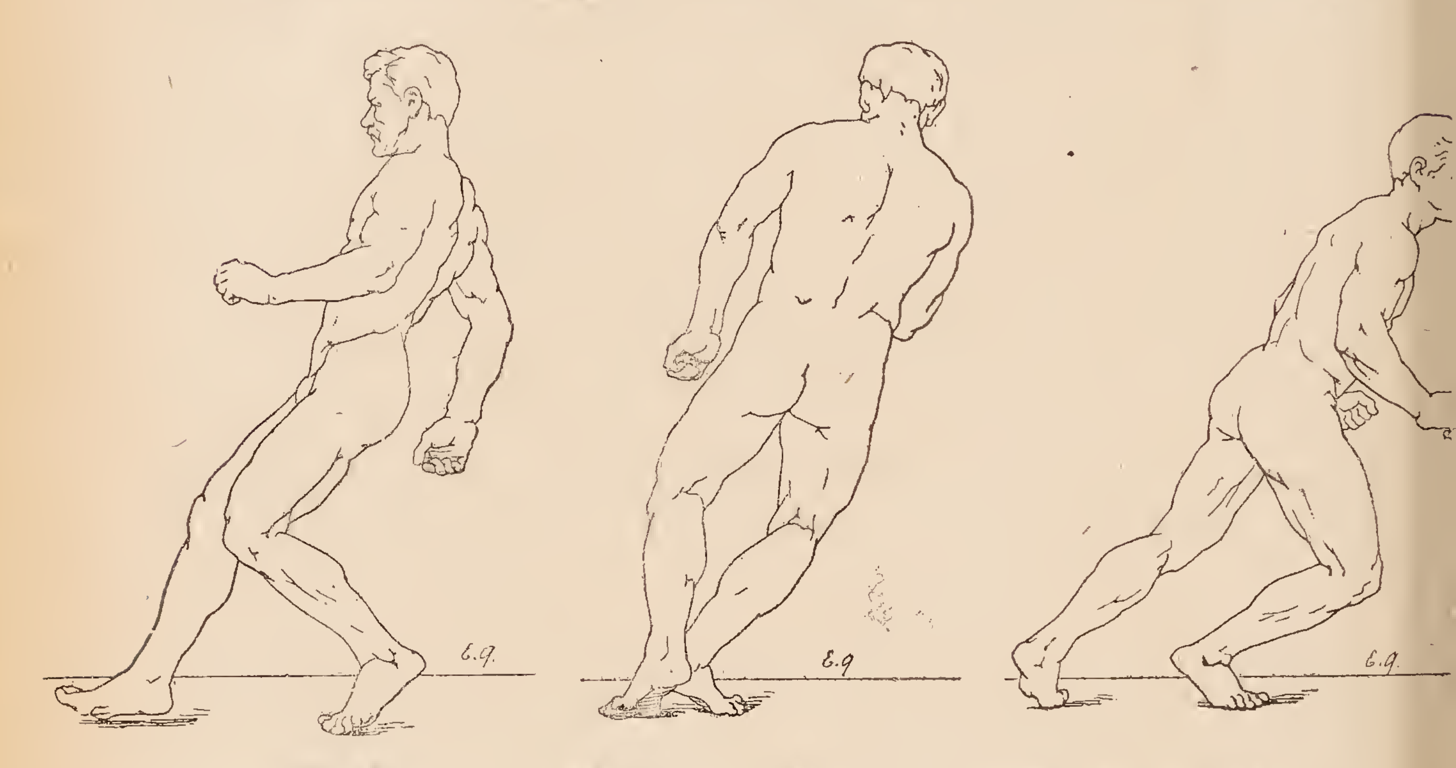


Fig. 405. — Attitudes d'un coureur qui revient sur ses pas.

On voit l'inclinaison du corps nécessitée par l'arrêt se conserver lors du changement de direction dans la vitesse.

le départ et l'arrêt de la course, nous avons pu constater qu'à chaque poser du pied la vitesse augmente ou diminue d'une quantité constante, le mouvement est uniformément accéléré dans le départ, uniformément retardé dans l'arrêt ce qui prouve l'action régulière ou constante du coup de jarret (fig. 406 et 407). La forme générale du tracé est une ligne droite inclinée présentant des sinuosités correspondant à chaque poser du pied. Cette figure montre aussi le temps employé soit pour acquérir le maximum de vitesse soit pour s'arrêter. Une distance de 6 mètres au moins devant soi est nécessaire pour cela.

Transitions de la marche a la course et de la course a la marche. — De la marche à la course (fig. 408) la transition se fait

directement pendant un appui du pied, sans passer par une allure

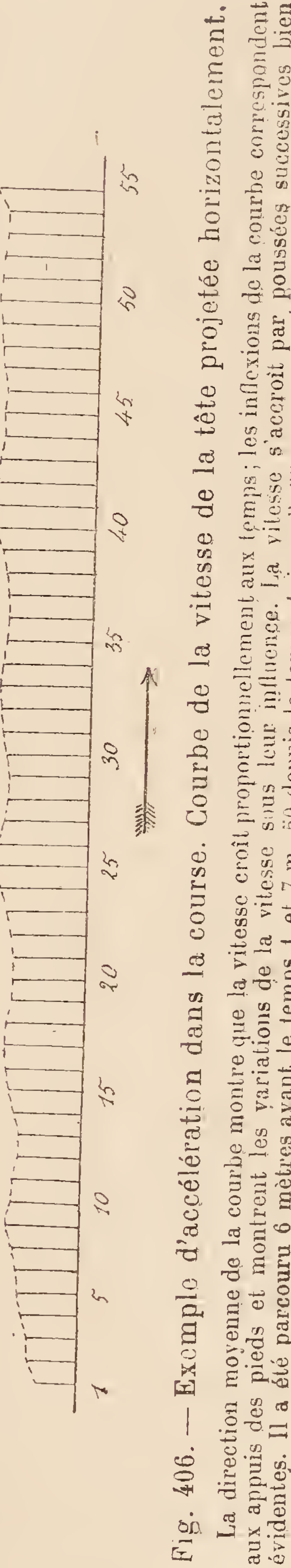


Fig. 406. — Exemple d'accélération dans la course. Courbe de la vitesse de la tête projetée horizontalement.

La direction moyenne de la courbe montre que la vitesse croît proportionnellement aux temps; les inflexions de la courbe correspondent aux appuis des pieds et montrent les variations de la vitesse sous leur influence. La vitesse s'accroît par poussées successives bien évidentes. Il a été parcouru 6 mètres avant le temps 1 et 7 m. 50 depuis le temps 1 jusqu'à 55.

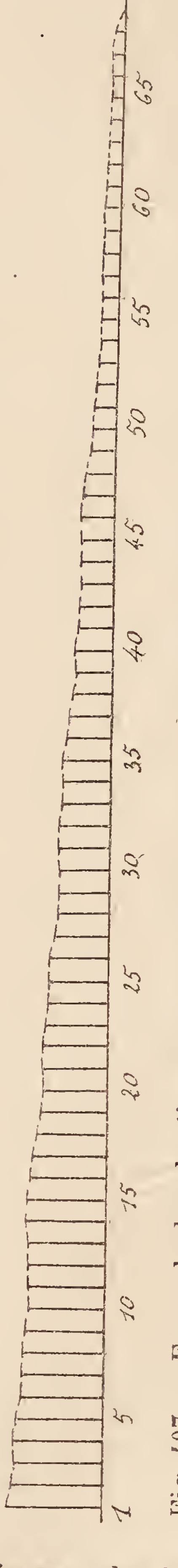


Fig. 407. — Exemple de ralentissement après la course. Courbe de la vitesse de la tête projetée horizontalement.

La vitesse décroît proportionnellement aux temps; la diminution de la vitesse se fait à chaque appui du pied par le travail résistant des extenseurs du membre inférieur; les sinuosités de la courbe correspondent aux appuis des pieds; l'unité de temps est la même que dans la figure précédente. Il a été parcouru 6 mètres depuis le temps 1 jusqu'à l'arrêt.

mixte. Le marcheur qui veut courir penche le corps en avant, puis fait un appel du pied semblable à un saut, il fléchit pour

cela la jambe à l'appui et l'étend ensuite brusquement pour détacher le corps du sol. La figure 409 ne montre que les mouvements de la moitié droite du corps; la transition se fait en B sur le pied gauche invisible, mais les réactions se font suffisamment sentir sur la moitié droite du corps. On voit que la flexion de la jambe au moment de son appui modifie immédiatement les trajectoires de la hanche et de la tête, en leur donnant les caractères propres à la course, c'est-à-dire la forme concave par en haut à la place de la convexité qui s'observait en A dans la

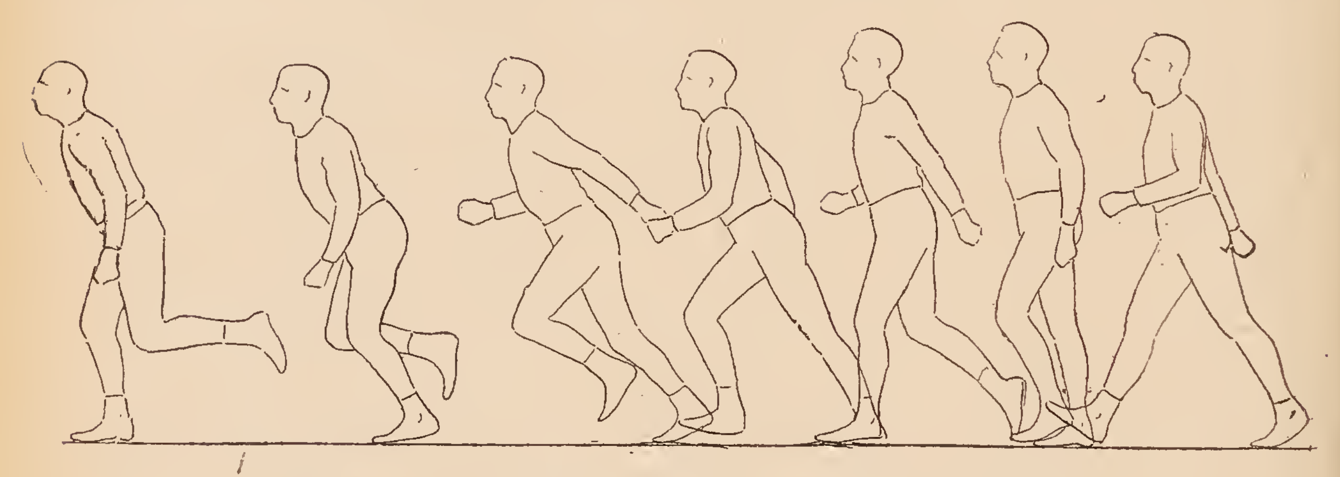


Fig. 408. — Transition de la marche à la course.
Le marcheur se penche en avant pour accélérer sa vitesse.

marche. A la fin de cet appui, la brusque détente de la jambe projette le corps comme dans un saut, la suspension est obtenue en C; un autre appui s'observe en D; le régime de la course est régulièrement établi.

De la course à la marche la transition est inverse (fig. 410 et 411); le coureur ralentit sa vitesse en penchant le corps en arrière. L'appui prochain A est un peu plus prolongé, le membre inférieur plie en faisant un travail résistant pour atténuer la vitesse; il se redresse ensuite sans brusquerie comme dans la marche.

Pendant cet appui, la trajectoire de la hanche offre une forme mixte ; concave d'abord comme dans la course, puis convexe comme dans la marche.

A partir de ce moment, les actes qui se succèdent sont ceux de la marche ordinaire : le lever du pied correspond à un minimum des trajectoires de la tête et de la hanche, il se produit au moment où le pied gauche vient toucher le

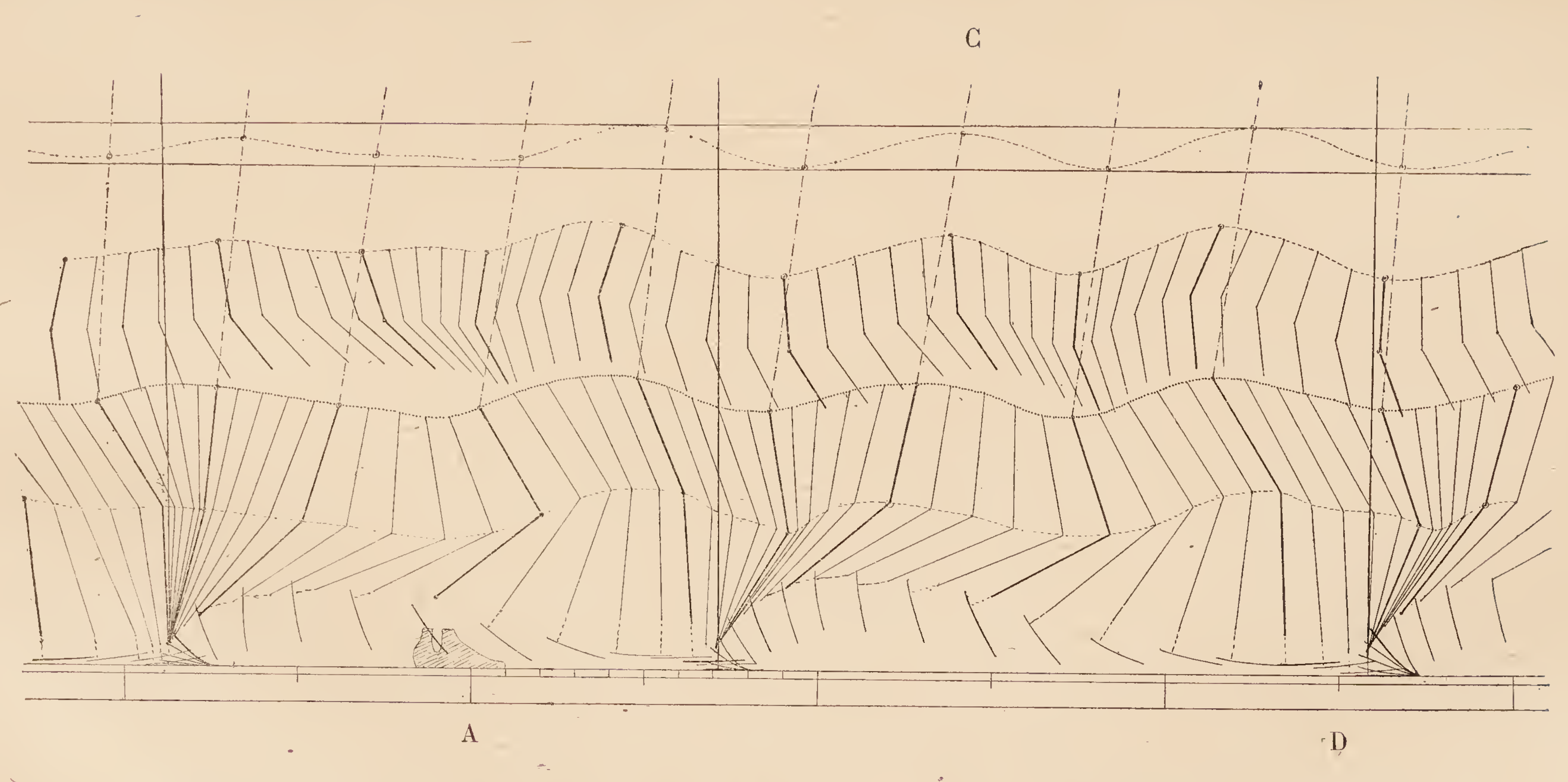


Fig. 409. — Transition de la marche à la course. Analyse chronophotographique (25 images par seconde).

On voit les modifications dans les trajectoires se produire en A au moment du poser du pied gauche.

sol ; enfin le corps reprend l'inclinaison propre à l'allure de la marche.

La série des actes exécutés dans cette transition est semblable à celle qui s'observe dans la chute qui suit un saut en longueur.

Les transitions d'ailleurs peuvent s'étudier au moyen de la méthode des appuis et levers. Le tracé suivant montre la durée relative d'appui et de lever de chaque pied dans une marche accélérée qui devient en C une course modérée. On voit com-

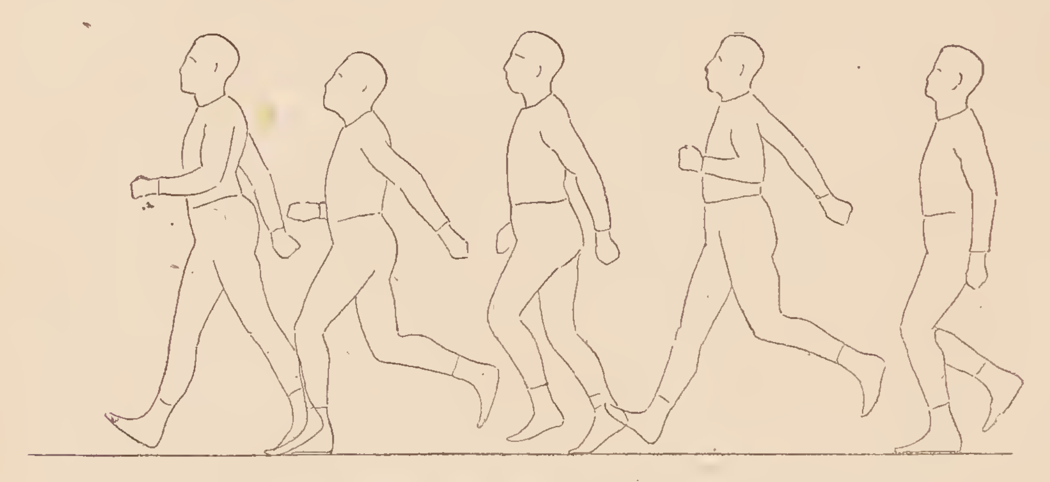


Fig. 410. — Transition de la course à la marche.
On voit le coureur porter le corps en arrière pour ralentir la vitesse.

ment il y a subitement transition d'allure et substitution de la suspension du corps au double appui ce qui est la caractéristique de la course et de la marche (fig. 412 et 413).

Nous aurons encore à examiner à propos de l'économie du travail les allures les plus avantageuses au point de vue pratique pour parcourir une distance donnée dans des conditions voulues de temps ou de moindre fatigue.

Galop. — L'allure appelée galop est une combinaison de la course et une combinaison de la course et de la marche ; elle contient une suspension correspondant à l'impulsion d'une seule jambe. Cette impulsion est supérieure en intensité et en durée à celle de l'autre jambe qui exécute seulement la poussée nécessaire à un demi-pas de marche précipité (fig. 414).

Les distances des empreintes des pieds sur le sol ne sont plus égales ; cette allure est usitée seulement dans les jeux d'enfants.

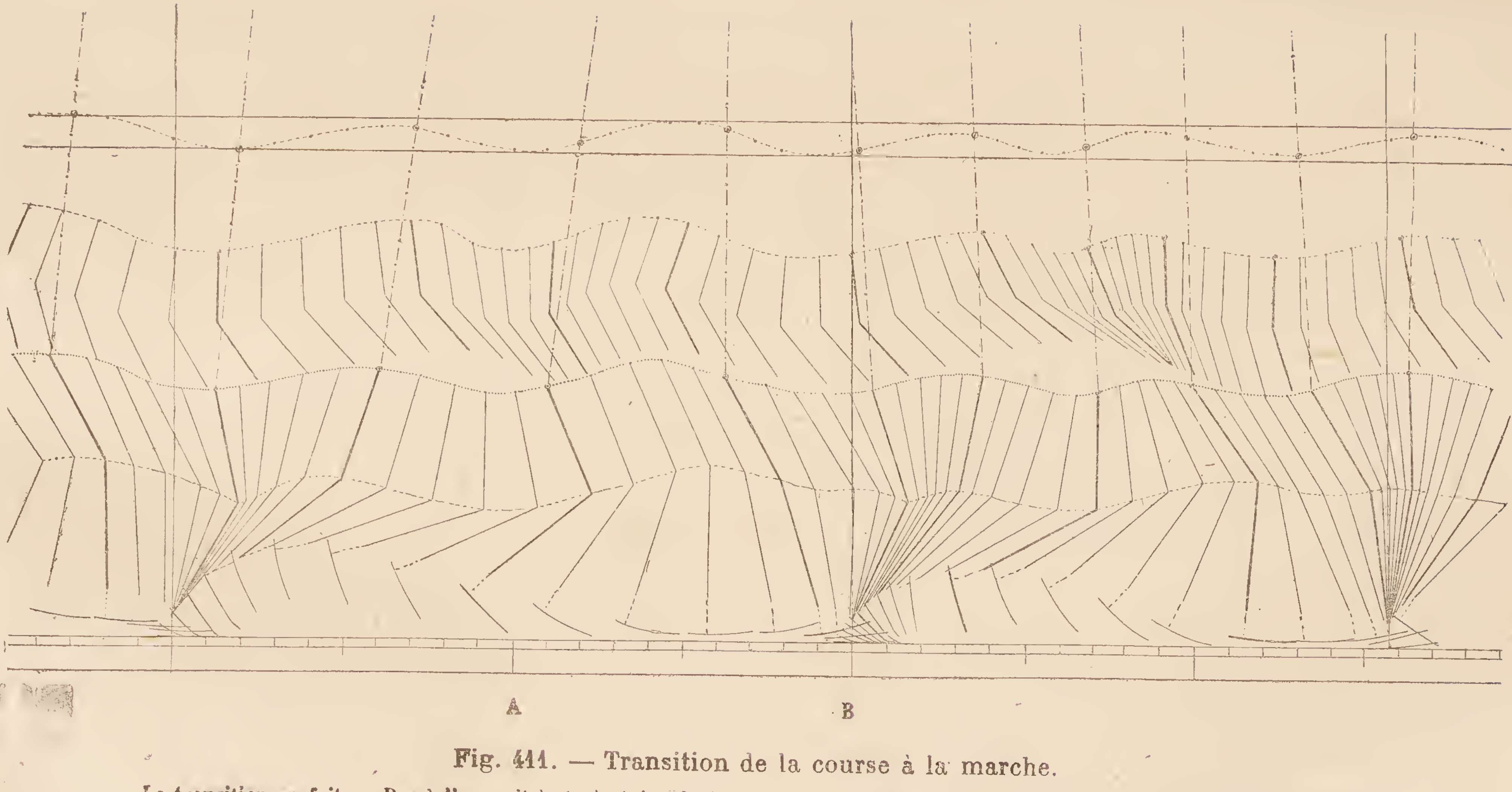


Fig. 111. — Transition de la course à la marche.

La **transition** se fait en B, où l'on voit la trajectoire de la hanche se modifier et devenir **convexe pendant l'appui du** pied.

PROPOSITIONS RÉSUMANT LES LOIS DE LA LOCOMOTION HUMAINE[1]

I. Le niveau moyen des oscillations verticales de la tête est plus élevé dans la marche que dans la course et s'abaisse avec

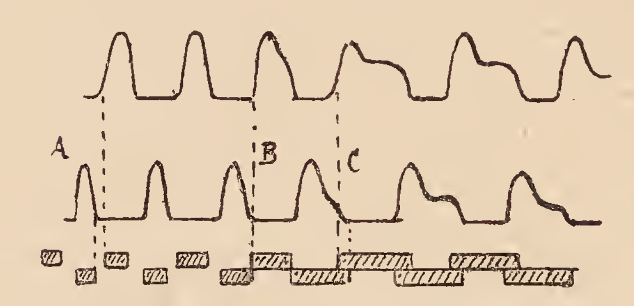


Fig. 412. — Inscription des appuis des pieds avec notation des appuis et levers dans une transition de la course à la marche.

En A, il y a suspension ; en B, les appuis se succèdent et en C, il y a double appui.

la vitesse de l'allure; la distance entre les maxima et les minima des oscillations verticales, c'est-à-dire la valeur absolue

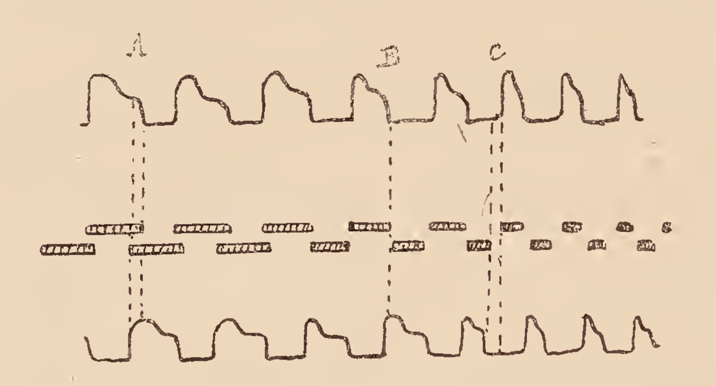


Fig. 413. — Inscription simultanée des appuis du pied droit et du pied gauche avec notation des appuis et levers dans la transition de la marche à la course.

On voit en A le double appui ; en B, ce double appui est nul ; en C, il y a suspension du corps.

de ces oscillations varie comme la longueur du pas dans la marche; dans la course les oscillations verticales sont indépendantes de la longueur du pas, elles diminuent plutôt quand la longueur du pas augmente.

II. L'angle compris entre les deux positions extrêmes du rayon du membre inférieur au moment de l'appui et du lever du pied, c'est-à-dire l'angle de déroulement du rayon du

1. Ces propositions ont été publiées dans « L'Éducation physique », *Bulletin du Cercle de Gymnastique rationnelle*, décembre 1885, n° 14.

membre inférieur, varie peu et équivaut en moyenne à 52° environ dans la marche. Dans la course il est de 42° et augmente avec la vitesse de progression, à mesure que l'extension du membre inférieur est plus complète.

III. Au moment de l'appui, la jambe est sensiblement étendue dans la marche, toujours fléchie dans la course; elle pose d'autant plus verticalement que l'allure est plus rapide. Au moment du lever, la jambe est toujours fléchie dans la marche, et d'autant plus étendue dans la course, que l'allure est plus

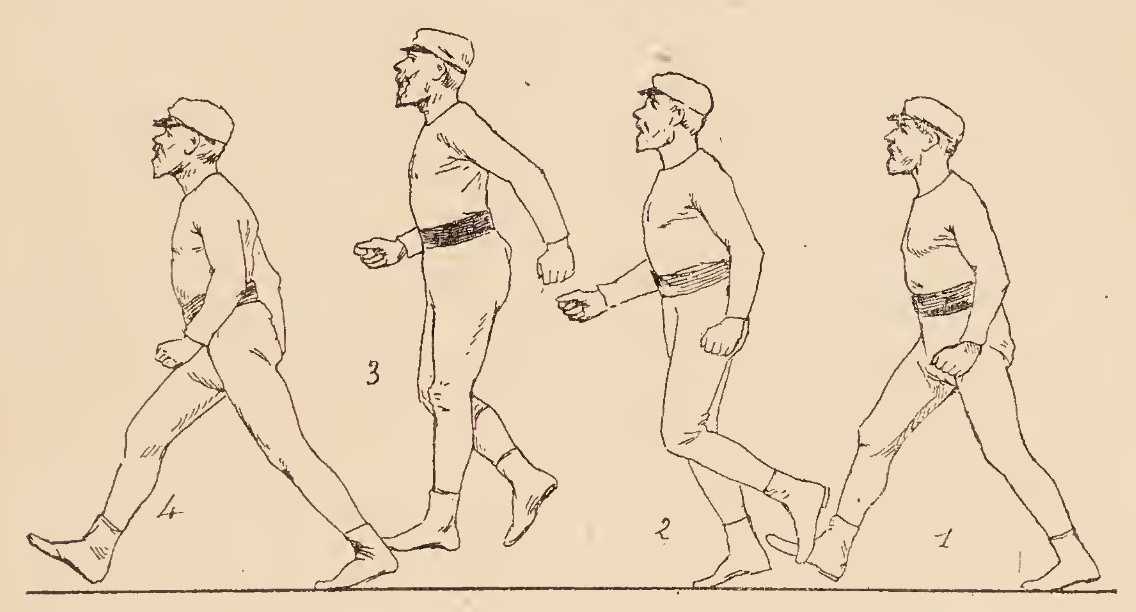


Fig. 414. — Galop. Analyse d'un pas.

rapide. Dans le passage de la hanche par la verticale, la jambe est étendue dans la marche, mais incomplètement, elle est fléchie au maximum dans la course.

IV. Dans la marche, la trajectoire de la hanche est toujours une courbe offrant, pendant l'appui du pied, un maximum compris entre deux minima et présentant une concavité moyenne tournée vers le sol.

Dans la course, la trajectoire de la hanche pendant l'appui du pied est une courbe à une seule courbure, tournant sa convexité moyenne vers le sol. Cette forme de la trajectoire de la hanche pendant l'appui est caractéristique des allures marchées et courues et suffit pour les différencier.

V. Comme conséquence, les maxima d'élévation de la tête au-dessus du plan horizontal ont lieu pendant les appuis dans la marche et entre deux appuis dans la course, c'est-à-dire pendant la suspension du corps.

La position des maxima de la trajectoire de la tête est au delà de la verticale passant par l'articulation de la cheville au poser, et d'autant plus loin dans le sens de la progression que l'allure est plus rapide. Cela tient à l'exagération de l'inclinaison du tronc en avant. On peut étendre cette proposition à la course, à la condition de remplacer les maxima par les minima.

Plus le pas est long dans la marche, plus le minimum est surbaissé, la hauteur maximum du sommet de la tête est égale à la taille de l'homme diminuée du raccourcissement de la jambe due à sa flexion.

VI. Dans la marche il y a toujours double appui, quel que soit le rythme; la durée du double appui varie depuis le quart jusqu'au huitième de la durée du demi-pas. La durée du double appui diminue plus vite que la durée de l'appui; elle vaut de 7 à 2 quarantièmes de seconde. La durée du double appui est toujours la différence entre la durée de l'appui et la durée de la suspension du même membre.

Pour la marche au rythme 60, la durée du double appui est un peu supérieure au quart de la durée totale du demi-pas. Sa valeur absolue est de 7 quarantièmes de seconde.

Dans la course, il y a toujours suspension du corps, et l'espace parcouru horizontalement pendant cette suspension augmente beaucoup avec la vitesse, tandis que l'espace parcouru pendant l'appui du pied reste constant ou augmente fort peu.

VII. Le membre oscillant est d'autant plus fléchi que l'allure est plus vive, c'est-à-dire que la durée d'oscillation est plus petite. Cette flexion est donc en rapport avec la moindre durée de l'oscillation, elle a pour résultat une économie sensible de travail musculaire.

La vitesse maximum du pied pendant la suspension est toujours supérieure à la vitesse de progression. Elle est plus grande que le double de celle-ci dans la marche; cela tient à ce que la durée du lever du pied est, dans la marche plus petite que la durée de l'appui du pied; cette dernière excède la durée du demi-pas de la durée du double appui.

Dans la course, la durée de la suspension s'ajoute à la durée du demi-pas pour constituer la durée du lever du pied; aussi celle-ci l'emporte-t-elle sur la durée de l'appui.

On s'explique ainsi comment, pour une même vitesse de progression, la vitesse relative du pied, par rapport à la vitesse de la masse du corps, peut être beaucoup plus petite dans la course que dans la marche ; car, dans la course, la durée de l'oscillation du membre suspendu est plus grande, à cadence égale. Le pied acquiert son maximum de vitesse au dernier tiers environ de la longueur du pas.

Les membres supérieurs sont d'autant plus fléchis que l'allure est plus rapide, pour la même raison économique donnée plus haut pour les membres inférieurs.

VIII. Les demi-pas sont souvent inégaux ; celui qui correspond à l'impulsion de la jambe gauche est généralement le plus long. La force musculaire est plus grande dans la jambe avec laquelle on a l'habitude de faire les appels dans les sauts.

La longueur du pas augmente jusqu'à la cadence 75, puis diminue ; dans la course, la longueur du pas augmente sans cesse.

IX. La vitesse de progression augmente dans la marche jusqu'au rythme 85, et le maximum ne coïncide pas nécessairement avec la plus grande longueur de pas.

Le maximum du produit : fréquence par longueur de pas, a lieu dans la série considérée au rythme 85, mais la vitesse, qui est alors de 121 mètres à la minute, ne pourrait être continuée longtemps sans fatigue.

X. La pression normale du pied excède toujours le poids du corps et atteint son maximum au moment du poser du pied dans la marche.

Cette pression maximum est toujours suivie d'un minimum, dont la valeur absolue est inférieure au poids du corps et décroît avec le rythme. A ce minimum succède un maximum pendant les derniers moments de l'impulsion ; ce maximum est toujours inférieur au premier en valeur absolue.

Dans la course, la pression normale du pied est toujours supérieure au poids du corps ; elle croît très vite au moment du poser, passe par un maximum et décroît ensuite jusqu'à zéro au moment du lever.

Ces variations de la pression normale sont directement liées à l'accélération du mouvement vertical ascendant ou descen-

dant du centre de gravité du corps, elles suivent la loi qui lie le mouvement de la masse du corps à l'impulsion qui agit sur elle. C'est-à-dire qu'à chaque instant la différence entre le poids du corps et la composante verticale de l'action du membre à l'appui, est égale à l'accélération du mouvement de centre de gravité du corps multipliée par la masse de celui-ci, et la pression du pied, dans le simple appui bien entendu, est supérieure au poids du corps, tant dans le mouvement vertical ascendant accéléré, que dans le mouvement vertical descendant retardé.

La pression tangentielle du pied dans la marche et la course est négative, c'est-à-dire dirigée en sens inverse de la progression au moment du poser du pied; elle devient nulle, puis positive. Ces changements de signe correspondent à l'obliquité du rayon du membre inférieur au moment du poser, puis à sa perpendicularité, ensuite à son action impulsive oblique dans le sens opposé. C'est dans cette dernière phase seulement que le membre effectue le travail véritablement utile à la progression. La première phase, au contraire, donne naissance à du travail résistant et correspond au ralentissement de la masse du corps que nous signalons dans le paragraphe suivant.

XI. Pendant l'appui du pied, il y a un ralentissement de la vitesse horizontale de la masse du corps; le maximum de ce ralentissement correspond au passage du rayon du membre actif par la verticale, c'est-à-dire au maximum d'élévation du tronc au-dessus du plan horizontal dans la marche et au minimum dans la course.

Les variations absolues de la vitesse horizontale augmentent, ainsi que les réactions verticales, avec la longueur du pas dans la marche.

Il est important de constater que ces deux éléments, qui sont fonction de la longueur du pas et une fonction plus compliquée de la vitesse de progression, sont justement les éléments principaux du travail mécanique dépensé dans la locomotion.

XII. Le travail mécanique dépensé dans la marche croît d'abord depuis le rythme 40 jusqu'au rythme 55, il croît beaucoup moins vite dans les allures normales (55 à 65 pas à la minute) que l'on peut appeler pour cette raison allures avantageuses; à partir du rythme 65 le travail croît considérablement.

Pour la course, le travail, assez grand aux cadences les plus lentes, diminue d'abord quand la fréquence des pas s'accroît, passe par un minimum correspondant à la cadence 110 environ, puis augmente toujours.

Il y a donc pour chaque allure certaines cadences particulièrement favorables : ce sont celles où la vitesse croît plus vite que la dépense de travail, à savoir les rythmes 60 à 65 pour la marche et 110 à 115 pour la course.

Le travail à l'heure croît toujours avec le rythme; le travail au kilomètre, au contraire, est d'autant plus faible que l'allure est plus rapide, excepté pour les marches défavorables dont le rythme dépasse 65. On peut déjà prévoir que ces conclusions sont à l'avantage des allures où le pas est le plus long.

Mais d'autres considérations doivent intervenir encore pour motiver le choix des allures, il ne faut pas que la dépense de travail se fasse en un temps trop court, sans quoi la réparation des forces musculaires n'arriverait plus à compenser la dépense.

On peut impunément soutenir une longue marche au bout de laquelle on aura dépensé un grand travail, tandis qu'une course rapide épuiserait en très peu de temps la force musculaire, avec une dépense totale de travail beaucoup moindre.

Il y aura donc lieu de déterminer pour chaque allure la dépense de travail à l'heure et au kilomètre, ainsi que les relations de la vitesse avec la cadence.

D'autre part, il faudra répéter sur un grand nombre de sujets ces études, qui n'ont porté jusqu'ici que sur deux hommes, et chercher l'influence du poids et de la taille, celle de la charge portée, de la pente et de la nature du terrain. C'est particulièrement au perfectionnement des exercices du soldat que s'appliquent ces recherches; elles ont excité l'intérêt de quelques officiers supérieurs de notre armée; nous comptons sur leur concours pour les diriger dans le sens le plus utile.

SAUT

Le saut consiste dans une projection de la masse du corps par la détente brusque des membres inférieurs préalablement fléchis.

Le saut est vertical ou oblique suivant que la vitesse communiquée au corps a une direction verticale ou oblique.

Le saut est dit de *pied ferme* lorsque le corps ne possède aucune vitesse au moment du saut. Le saut précédé d'une course s'exécute au contraire quand le corps possède la vitesse de la course. C'est toujours un saut oblique, on l'appelle saut en hauteur ou saut en longueur suivant le degré d'obliquité.

Il y a dans le saut quatre phases principales à considérer :

La préparation et l'impulsion, la suspension et la chute.

PRÉPARATION, IMPULSION ET CHUTE DU SAUT. — La *préparation* consiste dans la flexion des membres inférieurs, elle est exécutée en même temps que l'abaissement des bras et suivie immédiatement de l'*impulsion,* c'est-à-dire de l'extension brusque des membres inférieurs avec élévation des bras (fig. 415).

La *suspension* est la période suivante pendant laquelle le corps détaché du sol s'élève et progresse sans toucher terre avec la vitesse communiquée pendant l'impulsion.

La *chute* commence au moment où le corps touche terre; elle dure jusqu'à ce que toute la vitesse soit annulée. Dans la chute les membres inférieurs jouent le rôle contraire à celui qu'ils avaient dans l'impulsion.

SAUT VERTICAL. — Les actes musculaires exécutés pendant la préparation et l'impulsion ont pour but de communiquer à la masse du corps une vitesse initiale considérable dans la direction du saut. Cette vitesse est produite par l'extension vive des membres inférieurs qui a pour effet de repousser avec la même intensité et en sens contraire, le corps d'une part, la terre de l'autre.

La vitesse initiale communiquée est en raison inverse des masses, la terre ayant une masse infinie par rapport au corps, son mouvement est nul et le corps se meut comme un projectile sous l'effet d'un ressort. Il se détache de terre si la vitesse initiale communiquée est suffisante pour l'élever à une hauteur supérieure à la longueur des jambes. Si l'on était sur un obstacle n'ayant pas la solidité du sol, un bateau, ou un tremplin, par exemple, l'impulsion ne serait plus utilisée totale-

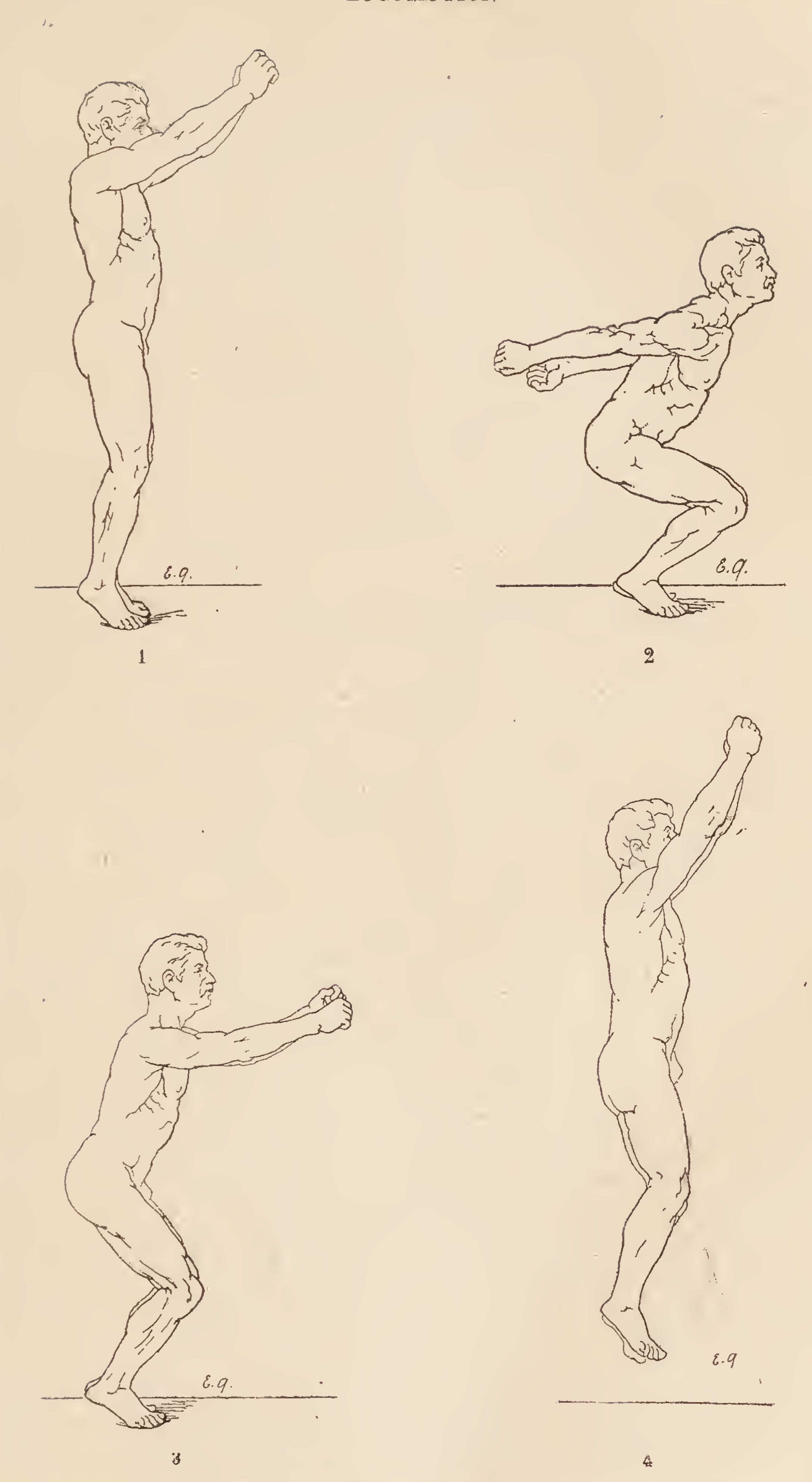


Fig. 415. — Attitudes principales d'un saut en hauteur.
1 et 2, préparation; — 3, impulsion; — 4, suspension du corps.

ment pour le saut, l'obstacle serait mis en mouvement comme le canon recule lors du départ du projectile et les quantités de mouvement c'est-à-dire le produit des masses mises en mouvement par les vitesses respectives du corps et de l'obstacle seraient égales.

L'impulsion se mesure par la pression des pieds sur le sol au moyen du dynamographe inscripteur dont nous avons déjà parlé à propos de la marche (fig. 339).

Nous avons vu la pression des pieds croître toutes les fois que l'accélération verticale du centre de gravité a le même signe que sa vitesse d'ascension ou de descente, c'est-à-dire quand le mouvement est accéléré ascendant ou retardé descendant. La pression des pieds est égale à la somme algébrique $P + m\gamma$.

P étant le poids du corps, m sa masse, γ l'accélération du mouvement vertical du centre de gravité en grandeur et signe.

La courbe des pressions donnée par le dynamographe n'est autre que la courbe des accélérations du mouvement vertical du centre de gravité et nous avons pu reconstituer ce dernier mouvement avec les données de l'impulsion; à chaque instant la relation $\frac{P}{g}\left(\frac{dz}{dt} - v_0\right) = \int_0^t F dt - Pt$ doit être vérifiée.

Préparation du saut. — La préparation du saut consiste dans un abaissement des bras et une flexion des membres inférieurs, l'impulsion suit immédiatement, commence avec l'extension vive et l'élévation brusque des bras.

On élève les bras au début (fig. 416) pour pouvoir les lancer davantage en abduction en arrière dans la position suivante et finalement pour leur communiquer, au moment de l'impulsion, une plus grande vitesse d'élévation. On peut substituer au mouvement de balancement des bras un mouvement de circumduction, cela importe peu pourvu que l'élévation soit exécutée très vivement comme nous allons le voir.

Impulsion, effet du mouvement des bras. — Les mouvements des bras ont une grande influence sur l'intensité de l'impulsion.

Voici par quel mécanisme :

L'abaissement du tronc et des bras produit des variations de la pression des pieds dans le même sens et s'ajoutant. Il en est

de même de l'élévation du tronc et des bras exécutés simultanément immédiatement après l'abaissement (fig. 417 et 418).

L'élévation des bras augmente l'accélération du mouvement ascensionnel du centre de gravité et par suite la pression des pieds sur le sol liée intimement, nous l'avons vu, à cette accélération. La pression considérable des pieds sur le sol qui a lieu en ce moment s'exerce à l'extrémité des segments fléchis du membre inférieur; la tension des muscles extenseurs devient considérable. C'est justement alors que commence l'extension

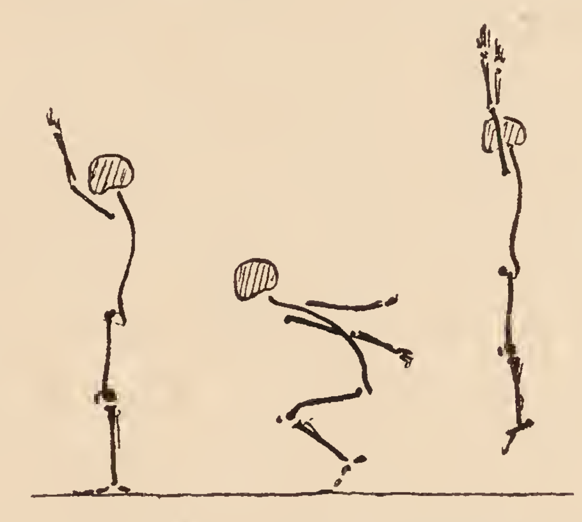


Fig. 416. — Les trois temps d'un saut de pied ferme sur place. Élévation des bras, préparation, impulsion et suspension.

active ou la phase utile de l'impulsion. L'acte musculaire d'impulsion est donc favorisé par l'élévation des bras, puisque la contraction volontaire se transmet à des muscles déjà fortement tendus, ce qui leur permet, dans un temps très court, de produire une action extrêmement énergique.

La vitesse d'élévation du centre de gravité est produite par la tension des muscles. On peut remarquer que l'élévation des bras annule en partie l'abaissement du centre de gravité dû au changement d'attitude du corps quand la jambe s'étend.

La vitesse ascensionnelle du centre de gravité pendant l'impulsion est d'autant plus grande que la pression des pieds est plus considérable.

Si la pression se maintient constante, cela indique un mouvement uniformément accéléré; sitôt qu'elle baisse, l'accélération du mouvement diminue, quand elle est égale au poids du corps, le mouvement est uniforme mais cela ne dure qu'un court espace de temps.

La pression tombe à O dès que l'accélération devient égale

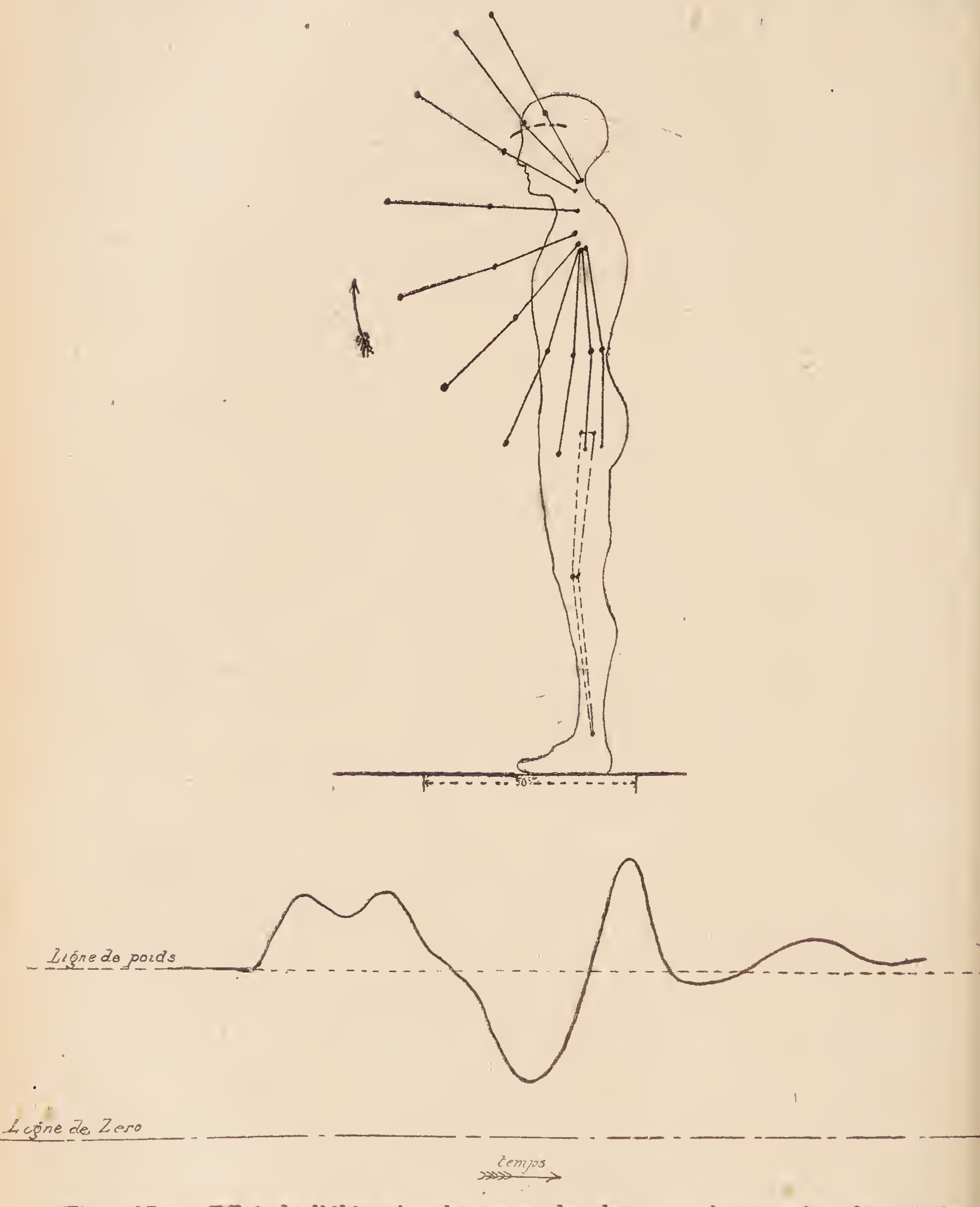


Fig. 417. — Effet de l'élévation brusque des bras sur la pression des pieds sur le sol. Analyse cinématique du mouvement par la chronophotographie et tracé dynamographique correspondant.

La pression est supérieure puis inférieure au poids du corps. On voit la hanche se déplacer en arrière pendant l'élévation des bras en entraînant le corps entier.

à celle de la pesanteur dans la chute libre. A ce moment, il n'y a plus d'action des membres inférieurs et le centre de gravité

s'élève verticalement jusqu'à ce que sa vitesse soit annulée par l'action constante de la pesanteur.

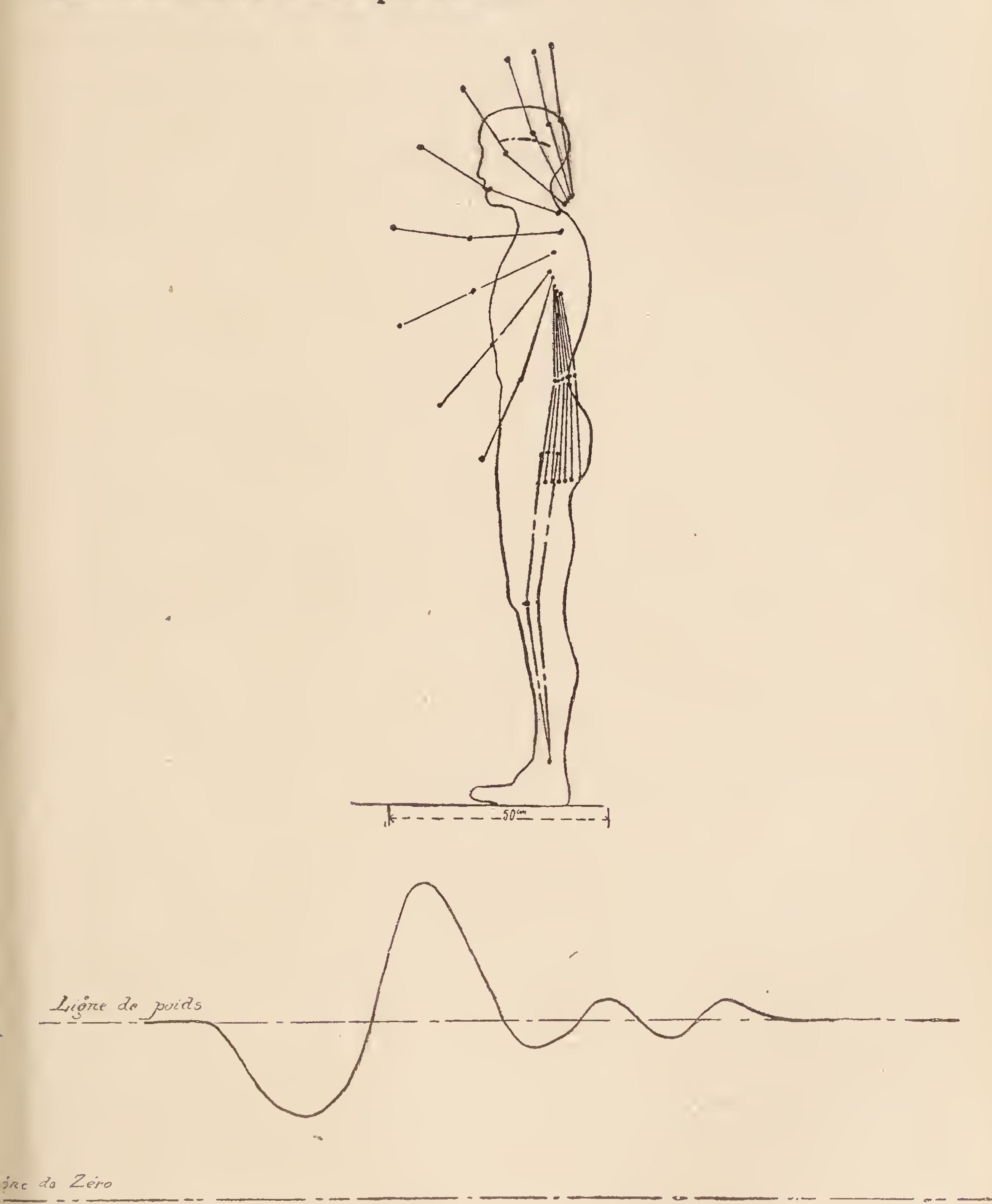


Fig. 118. — Abaissement brusque des bras. Analyse cinématique du mouvement et tracé dynamographique correspondant obtenus simultanément.

On voit la pression des pieds s'abaisser, puis remonter tout à coup au-dessus du poids du corps dès que l'accélération du mouvement vertical descendant du centre de gravité diminue, puis la pression revient à la valeur du poids après quelques oscillations.

L'accélération du mouvement vertical diminue toujours, s'an-

nule, change de signe, mais quand bien même la vitesse communiquée du corps ne serait pas suffisante pour le séparer au sol, la pression des pieds reste nulle tant que l'accélération du mouvement ascendant retardé ou descendant accéléré est égale à celle de la pesanteur. Elle augmente dès que l'accélération du mouvement descendant diminue.

La figure 419 montre que le fait d'élever vivement les bras et

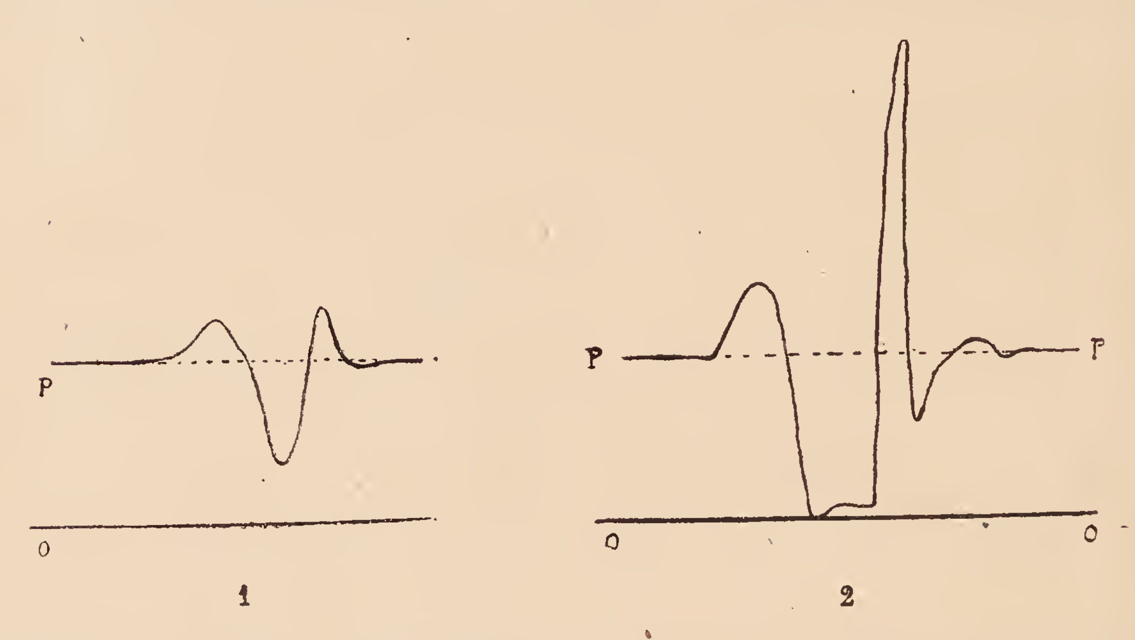


Fig. 419. — Pression normale des pieds sur le sol dans l'élévation vive des bras.

1, la pression s'élève puis s'abaisse ; — 2, la pression s'abaisse jusqu'à zéro.

de les arrêter brusquement dans la position horizontale peut faire tomber la pression des pieds à 0.

L'arrêt brusque se fait aux derniers moments de l'impulsion ; il favorise la séparation du corps et du sol, séparation qui se produit dès que la distance verticale parcourue par le centre de gravité est plus grande que la longueur dont s'accroît le rayon des membres inférieurs pendant le même temps et par leur extension.

On voit dans le tableau suivant les variations de la pression des pieds sur le sol pendant les actes de la préparation du saut et de l'impulsion (fig. 420).

On voit en 3 la combinaison des tracés dus séparément à l'abaissement des bras et à la flexion des jambes. Ce tracé pris pendant l'exécution des actes simultanés ne diffère des précédents que par l'intensité des variations dans la pression.

Il en est de même des tracés 4 et 5 dus à l'élévation des bras

et à celle du corps, qui donnent par superposition des deux actes simultanés le tracé 6.

La succession des mouvements d'abaissement et d'élévation

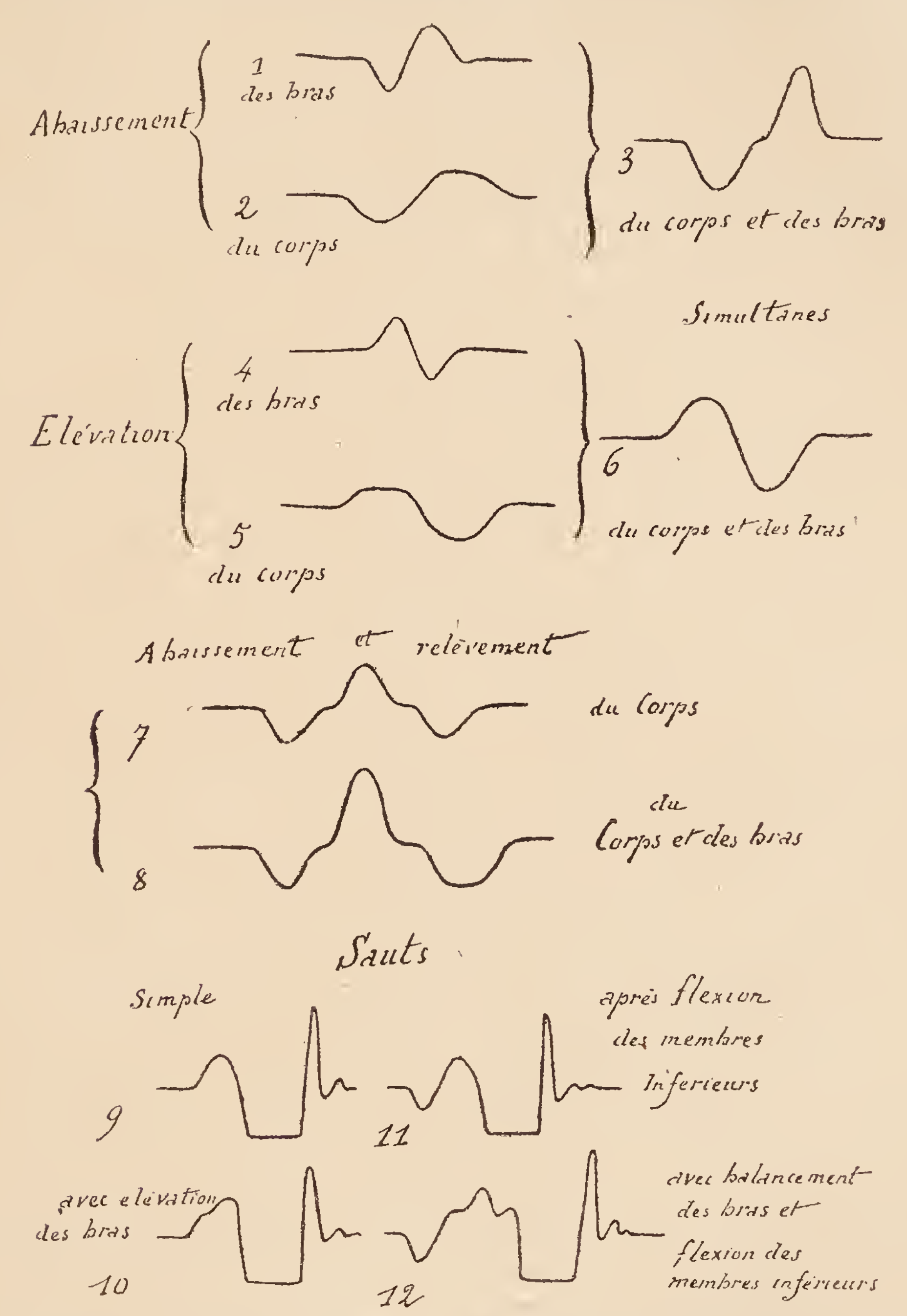


Fig. 420. — Différentes formes de la pression normale des pieds sur le sol obtenues en combinant les mouvements du corps et des bras et permettant de comprendre le rôle de ceux-ci dans le saut.

du corps (tracés 2 et 5) donne le tracé 7 qui est la superposition des deux premiers avec coïncidence des maxima de la pression.

Le balancement des bras ajouté au mouvement d'abaissement et d'élévation du corps ne fait qu'exagérer encore les maxima et minima de la courbe des pressions sans en changer la forme et donne le tracé 8.

Les tracés 9, 10, 11 et 12 montrent les complications de l'impulsion dans un saut vertical simple exécuté d'abord en partant fléchi, puis fléchi avec mouvement des bras, ensuite debout avec flexion et extension des membres inférieurs, enfin avec mouvement complet des bras.

Forme de l'impulsion en rapport avec la hauteur du saut. — Nous avons vu que pendant l'appui des pieds qui précède

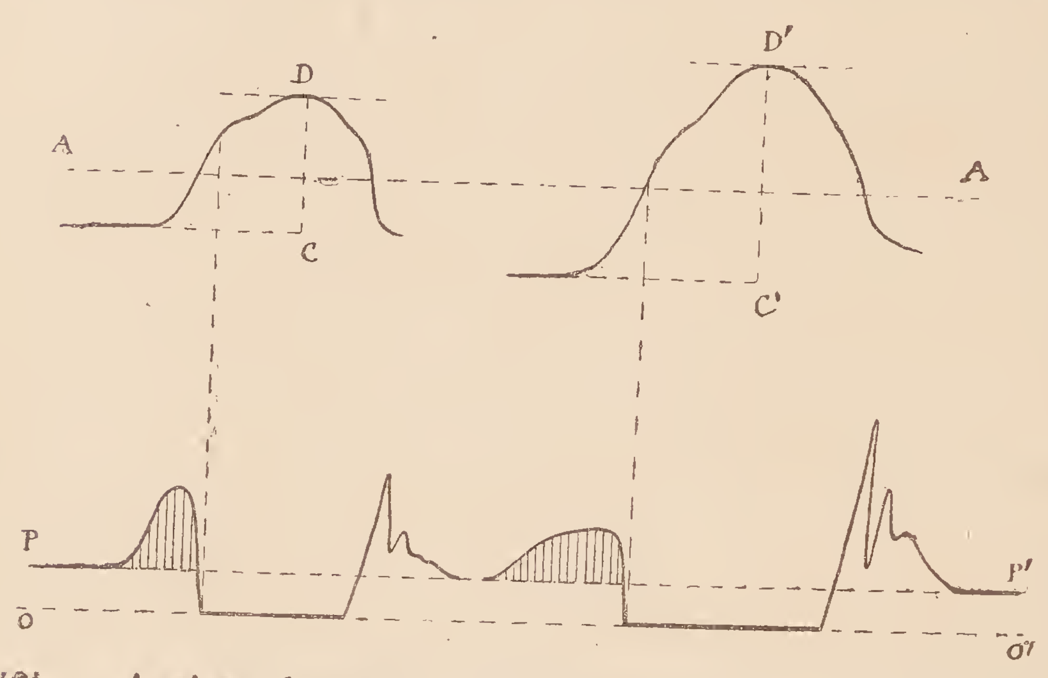


Fig. 421. — Analyse dynamographique de deux sauts de hauteurs différentes, partant de la position accroupie.

Le saut le plus haut D' C' ne correspond pas à l'effort maximum du pied mais à l'aire d'impulsion la plus grande. Les aires d'impulsion sont teintées de hâchures ; le saut le plus haut correspond à un abaissement plus grand du corps pendant la phase de préparation.

la suspension du corps, la pression varie constamment. Elle nous est donnée par les courbes du dynamographe. Si nous considérons l'aire comprise entre les ordonnées (vitesse 0 et instant où les pieds quittent le sol) et l'axe du temps, elle représente l'impulsion des membres inférieurs pendant le temps considéré.

$$\text{Aire d'impulsion} = \int_0^t F dt = m\,(V_t - v_0)$$

Cette aire est proportionnelle à la vitesse communiquée au centre de gravité du corps au bout du temps t; elle mesure exactement la quantité de mouvement du corps après l'impulsion.

La forme de l'aire d'impulsion n'est pas fixe; considérons-la dans des sauts simples, sans mouvements de bras, c'est-à-dire des sauts de pied ferme en partant de la station accroupie. Nous constatons que, pour une même hauteur de saut et une même masse à mouvoir, la pression passe par des valeurs

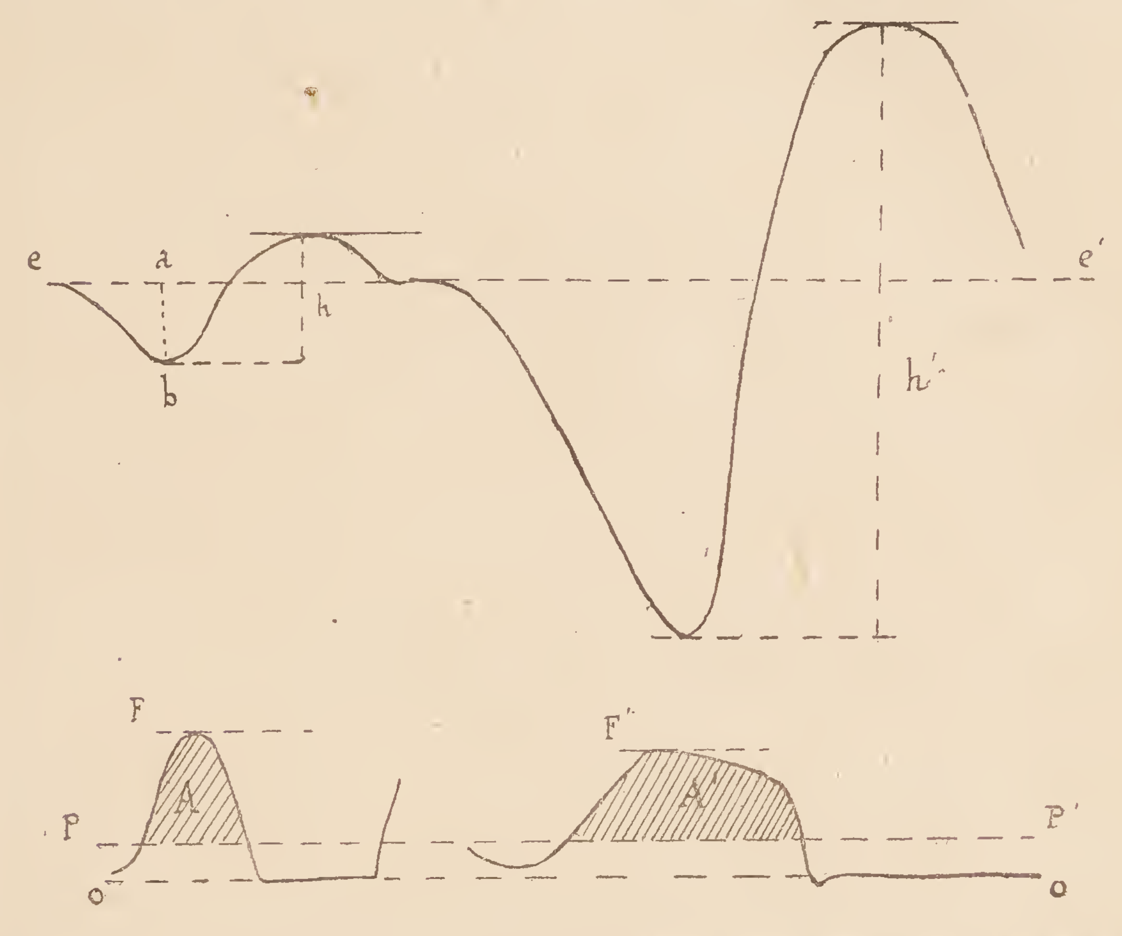


Fig. 422. — Deux sauts en hauteur de hauteurs inégales, avec abaissement préalable sans mouvement des bras.

ab, abaissement de la tête ; — *h*, élévation successive. La pression maximum du pied F ne correspond pas au saut le plus élevé. Ce dernier est obtenu grâce à une durée plus longue de l'appui du pied provenant d'une flexion plus marquée des jambes ; l'aire d'impulsion A' étant plus étendue que A

maxima très différentes et qu'aux plus grandes valeurs correspondent les durées d'appui les plus courtes.

Pour un même sujet, la hauteur du saut dépend de la valeur de l'aire d'impulsion quelle que soit sa forme[1]; les sauts les plus élevés ne correspondent pas forcément aux efforts plus intenses, mais on compense la faiblesse du coup de jarret par la durée de la détente.

Ceci est comparable à l'effet d'une poudre lente agissant

1. Marey et Demeny, Mécanisme du saut, *Académie des Sciences*, 24 août 1885.

longtemps sur un projectile dans le canon d'une arme à feu ou d'une poudre brisante agissant pendant un temps très court, mais acquérant pendant ce temps une force élastique considérable. La vitesse initiale communiquée au projectile peut être cependant la même dans les deux cas (fig. 421).

Les sujets qui ont un grand pied ou qui l'allongent au moyen

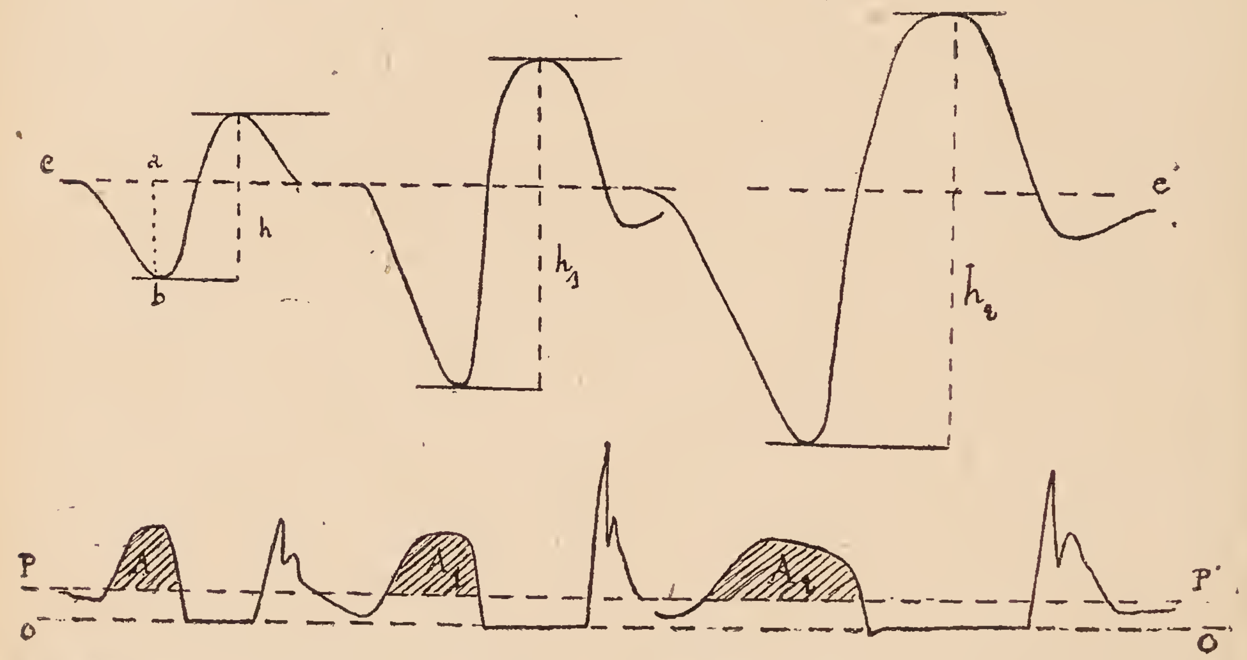


Fig. 423. — Trois sauts en hauteur analysés au moyen de l'inscription simultanée du mouvement de la tête et de la pression des pieds sur le sol.

On voit les hauteurs d'élévation de la tête h, h_1, h_2, croître avec les abaissements préalables au-dessous de la ligne de niveau e $é$ dans la station debout. On voit également les hauteurs du saut croître avec les aires d'impulsion A, A_1, A_2.

d'une semelle rigide, prolongent l'action de leurs membres inférieurs et augmentent l'aire d'impulsion. Il en est de même de ceux qui font une grande flexion préalable des genoux. Les sauts les plus élevés sont tous précédés par une plus grande flexion (fig. 422 et 423).

Pour un même sauteur, les aires d'impulsion sont proportionnelles aux vitesses communiquées au centre de gravité ou aux racines carrées des hauteurs d'élévation de ce dernier.

$$\frac{\text{Aire}}{\text{Aire}'} = \frac{mv}{mv'} = \frac{\sqrt{h}}{\sqrt{h'}}$$

Cette loi se vérifie expérimentalement si l'on a soin d'allonger complètement les jambes pendant la suspension du

saut de façon à ce que la hauteur dont s'élève la tête soit égale à celle dont s'élève le centre de gravité.

En réalité l'aire d'impulsion dans un saut n'est autre que le coup de jarret, dont les deux éléments principaux sont la force et la durée.

Comment se produit la pression des pieds dans l'élévation des bras. — On peut expliquer l'influence de l'élévation des bras sur l'augmentation de la pression des pieds par l'inertie de la masse du corps.

L'élévation brusque des bras produit un changement de forme du corps qui a pour effet d'élever brusquement le centre de gravité de quelques centimètres (fig. 417).

Si le corps était libre dans l'espace, aucun déplacement des membres ne pourrait déplacer le centre de gravité, puisqu'il serait dû à des forces intérieures, c'est le corps qui se déplacerait autour de son centre de gravité demeurant fixe.

L'élévation des bras produirait un abaissement de la masse du corps d'une valeur égale au déplacement absolu du centre de gravité dans le corps lui-même. Mais si les membres inférieurs reposent sur le sol, le corps tend à descendre par le fait de l'élévation des bras, cette descente du corps se manifeste par une tendance à la flexion des membres inférieurs. Cette flexion des membres inférieurs tendant à se produire juste au moment où l'action des extenseurs commence, nous comprenons qu'elle augmente la tension de ces extenseurs et que la vitesse de propulsion soit ainsi augmentée par l'élévation brusque des bras.

Influence d'un saut préalable. — Lorsqu'on veut sauter haut, on fait un saut préalable qui sert pour ainsi dire d'appel. Au moment où l'on touche terre on résiste par la contraction des extenseurs à la flexion des membres inférieurs qui tend à se produire dans cette chute. La vitesse du corps diminue alors et s'annule. A ce moment les extenseurs sont fortement étirés et d'autant plus tendus qu'ils ont plus résisté à la flexion des jambes.

Sous l'influence de cette tension des extenseurs, le mouvement va changer de sens et la vitesse communiquée au corps sera d'autant plus grande que l'effort d'extension a dès le début du mouvement une valeur plus grande.

L'entrée en jeu des extenseurs, avant même le changement

de sens du mouvement, réalise donc la meilleure condition d'effet utile.

La figure 424 représente les aires d'impulsion et les hauteurs d'élévation correspondantes de la tête dans des sauts successifs[1].

Les tracés du dynamographe montrent que la pression des pieds sur le sol, pression qui mesure la force d'extension des

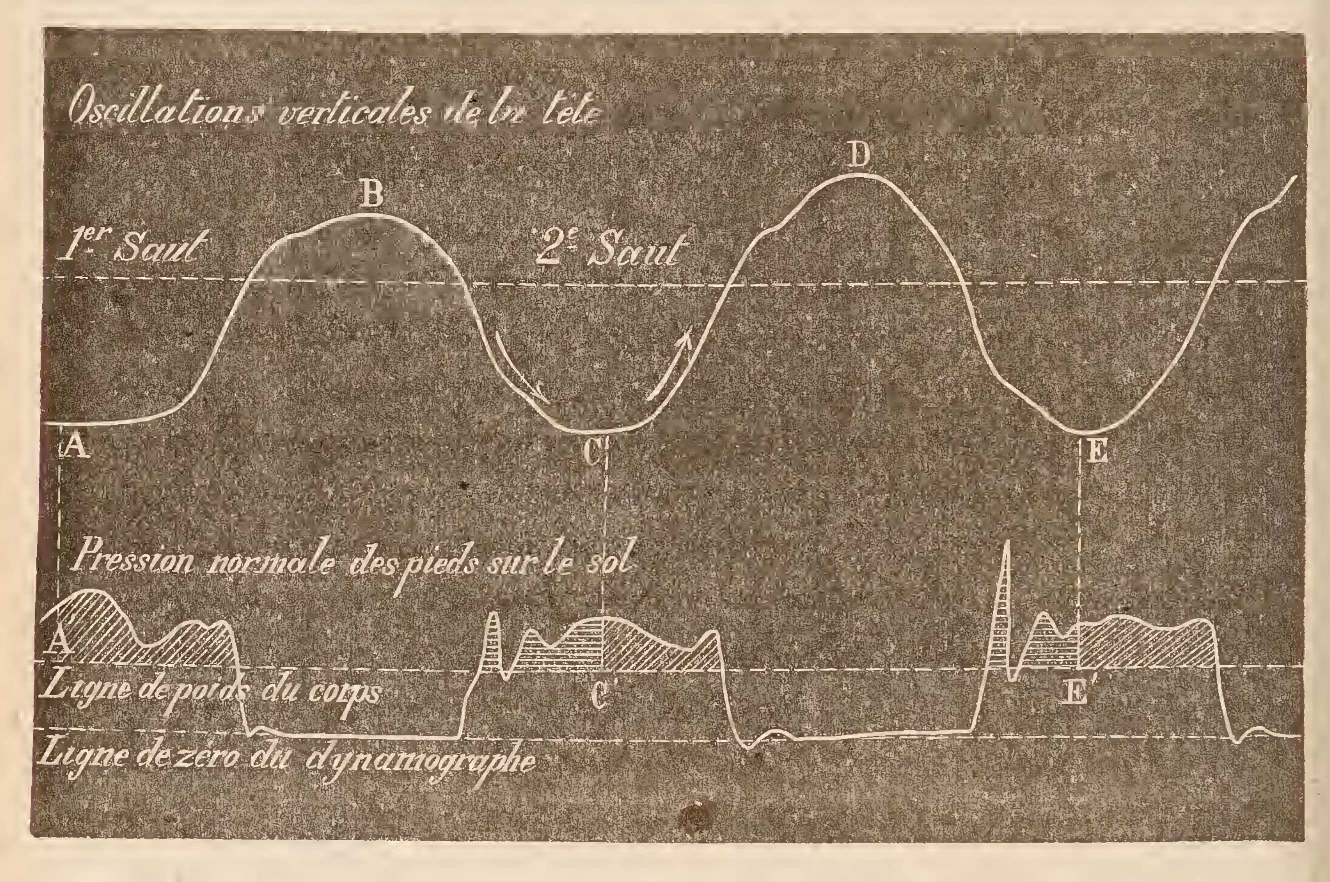


Fig. 424. — Sauts successifs en hauteur.
Inscription du mouvement vertical de la tête et de la pression des pieds sur le sol.

membres inférieurs, se maintient à une valeur considérable pendant la phase d'amortissement et la phase de détente qui se succèdent sans discontinuité ; finalement la hauteur du second saut D est plus élevée que celle du premier B.

L'accélération dans la descente du centre gravité du corps à la suite du saut B est la même que l'accélération dans la montée de l'impulsion du saut D. La vitesse a changé de sens, mais l'instrument n'indiquant pas de différence entre le travail résistant des muscles dans la phase d'amortissement et le travail moteur dans la phase d'impulsion, la pression des pieds se maintient pendant le changement de sens du mouvement.

1. G. Demeny. Du rôle des muscles antagonistes dans les actes de la locomotion. *Archives de Physiologie*, avril 1891.

Dans un saut avec préparation complète consistant dans l'abaissement du corps et le balancement des bras (fig. 425).

On voit la division de l'aire d'impulsion en deux parties : celle qui correspond au travail résistant de flexion et au travail moteur d'impulsion lors du changement de sens de la vitesse du corps.

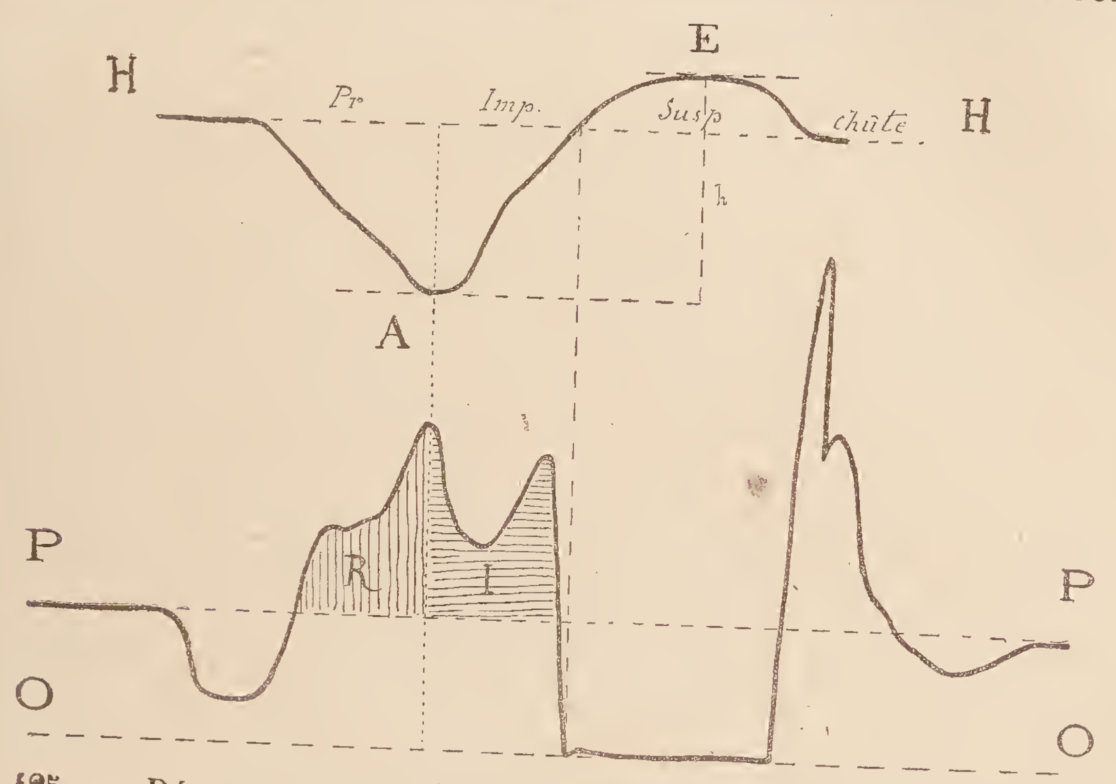


Fig. 425. — Décomposition de l'aire d'mpulsion dans un saut complet avec préparation et mouvement des bras.

La partie R correspond au travail résistant des muscles des jambes pendant l'abaissement du corps ; la partie I correspond au travail impulsif qui est obtenu lors de l'élévation du corps par une tension déjà considérable de ces muscles. La ligne supérieure représente le mouvement vertical de la tête réduit au moyen d'un fil de caoutchouc et dont le tracé correspond à celui du dynamographe qui est au-dessous.

Influence de la masse a mouvoir. — Si l'on ajoute une surcharge au poids du corps, la durée de l'appui pour une même hauteur de saut augmente avec la masse (fig. 426).

Les aires d'impulsion sont, pour une même vitesse initiale, proportionnelles aux masses en mouvement. Elles sont proportionnelles aux produits des masses par la vitesse correspondante, c'est-à-dire **aux quantités de mouvement** communiquées après l'impulsion.

Il en résulte que **pour une même aire d'impulsion**, le produit **du poids du sauteur par la racine carrée de la hauteur** d'élévation **du centre de gravité est constant. L'aire** d'impulsion est **proportionnelle à ce produit** $\frac{P}{P'} = \frac{\sqrt{h'}}{\sqrt{h}}$, ***les** hauteurs de saut*

sont inversement proportionnelles aux carrés des poids pour un même coup de jarret.

Nous avons pu vérifier expérimentalement cette loi dans des cas simples.

Sauts avec haltères. — Les anciens se chargeaient les mains de masses additionnelles qui avaient pour cette raison reçu le

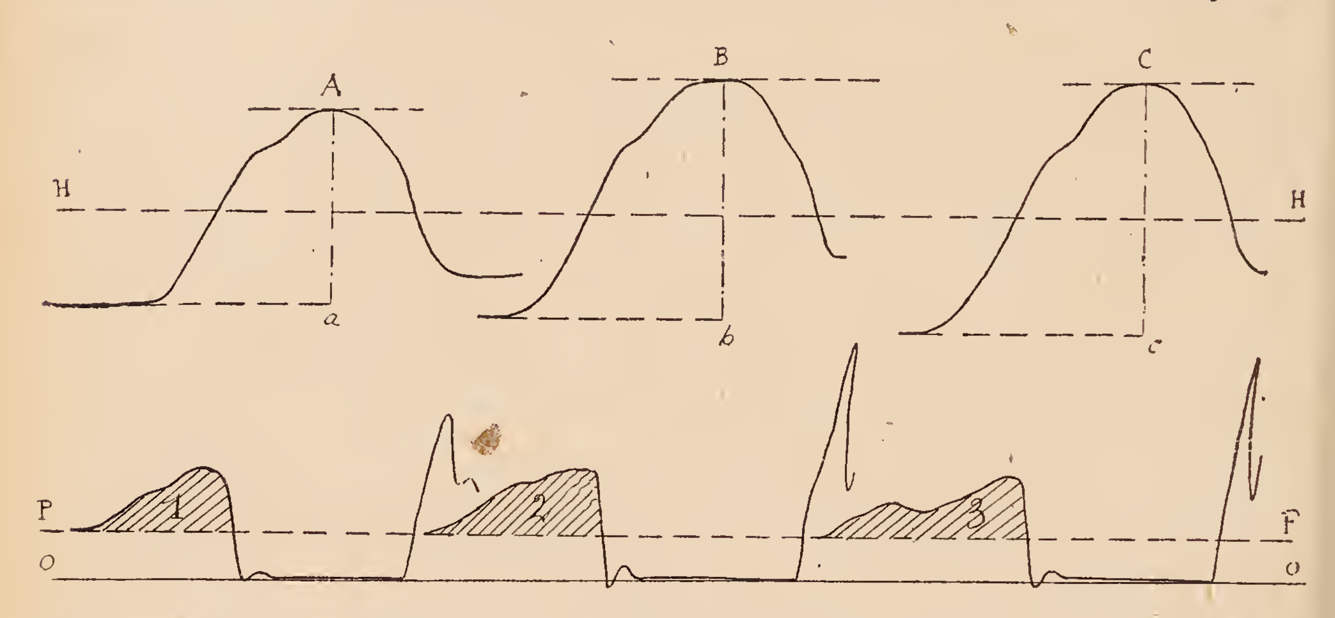


Fig. 426. — Sauts simples verticaux sans l'aide des bras avec surcharge de 5 kilogrammes (haltères aux hanches).

Hauteurs d'élévations de la tête et aires d'impulsion correspondantes. 1, sans poids ; 2, charge de 5 kilog ; — 3, charge de 10 kilog.

nom d'haltères. L'effet de ces masses est d'augmenter la force impulsive en augmentant l'aire d'impulsion. La masse des haltères agit aussi comme un balancier à cause de son inertie. Le sauteur en abaissant vivement les bras peut trouver sur ces masses un point d'appui momentané qui permette au corps de s'élever plus vite. Mais il doit lâcher les haltères à un moment convenable pour cela. Nous avons vu dans les cirques des sauteurs franchir ainsi facilement une voiture de fiacre.

A cet effet le sauteur fait deux sauts successifs, le premier sur le sol, le second sur un tabouret et pour exécuter le saut en longueur il lève les bras et les abaisse vivement en lâchant les haltères lors de leur abduction forcée en arrière (fig. 427).

Un peu avant de lâcher des poids additionnels, le corps avance avec une vitesse due au déplacement horizontal du centre de gravité par le rejet des bras en arrière. m étant la masse des haltères, M celle du corps, le partage de la quantité de mouvement se fait toujours de façon à ce que $M \times V = mv$.

$V = \frac{mv}{M}$. Plus la masse et la vitesse des haltères sera grande et plus petite sera la masse du corps, plus la vitesse de celui-ci sera importante.

On pourrait comparer cette répartition de la quantité du mouvement à celle d'un marcheur placé sur un terrain meuble. Ici le terrain sur lequel s'appuie le sauteur c'est la masse de l'haltère offrant par son inertie un point d'appui en l'air. Tant qu'il ne possède pas la vitesse de la main il se produit une pression entre la main et l'haltère, pression permettant de pousser le corps en avant comme le pied sur un terrain fuyant.

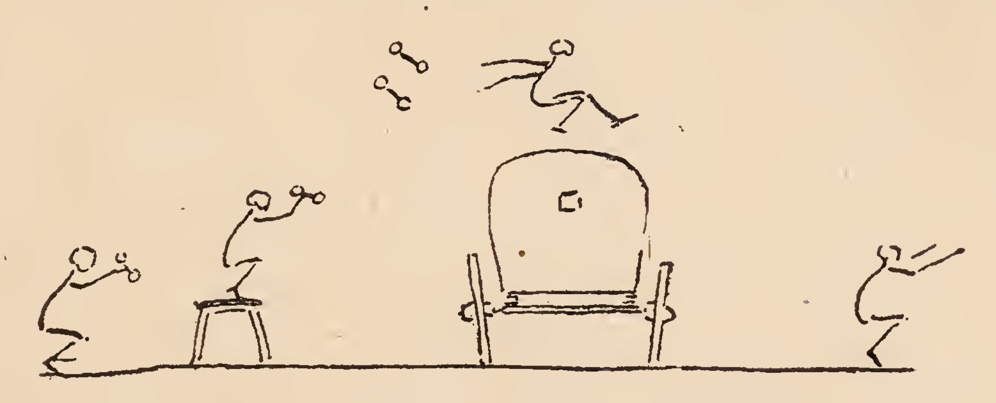


Fig. 427. — Saut avec haltères (schéma).

Au moment du lâcher des haltères la vitesse horizontale du corps est augmentée. Comme dans l'explosion d'une bombe qui éclate, les morceaux, projetés en avant, vont toucher terre à un point plus éloigné.

Les haltères doivent être lâchés lorsqu'ils ont acquis la vitesse du bras, et n'être jamais retenus par ce dernier. Lancés en arrière par la force musculaire, ils s'éloignent de plus en plus du corps mais, comme les morceaux d'une bombe qui éclate, ils forment avec le corps un système dont le centre de gravité continue à se mouvoir sur sa trajectoire parabolique avec une vitesse indépendante du lancer des haltères; la force musculaire constituant une force intérieure au système, ne peut en rien modifier le mouvement du centre de gravité.

Suspension du corps dans l'espace. — Le corps abandonne son appui sur le sol dès que la vitesse d'ascension du centre de gravité est supérieure à la vitesse d'allongement du rayon des membres inférieurs. L'extension de ceux-ci n'est pas nécessaire pour qu'il y ait suspension, mais elle favorise la vitesse en

augmentant la durée de l'appui et fait profiter le sauteur de tous les moyens dont il dispose. La pression tombe à 0 dès qu'il n'y a plus d'action des membres inférieurs, c'est-à-dire dès que le mouvement du centre de gravité est uniformément retardé. Au début de la suspension, la tête est d'autant plus élevée que l'extension des jambes est plus complète ; souvent même la tête est élevée au-dessus de son niveau habituel en station droite à cause de l'extension énergique du pied.

La quantité dont s'élève verticalement le centre de gravité à

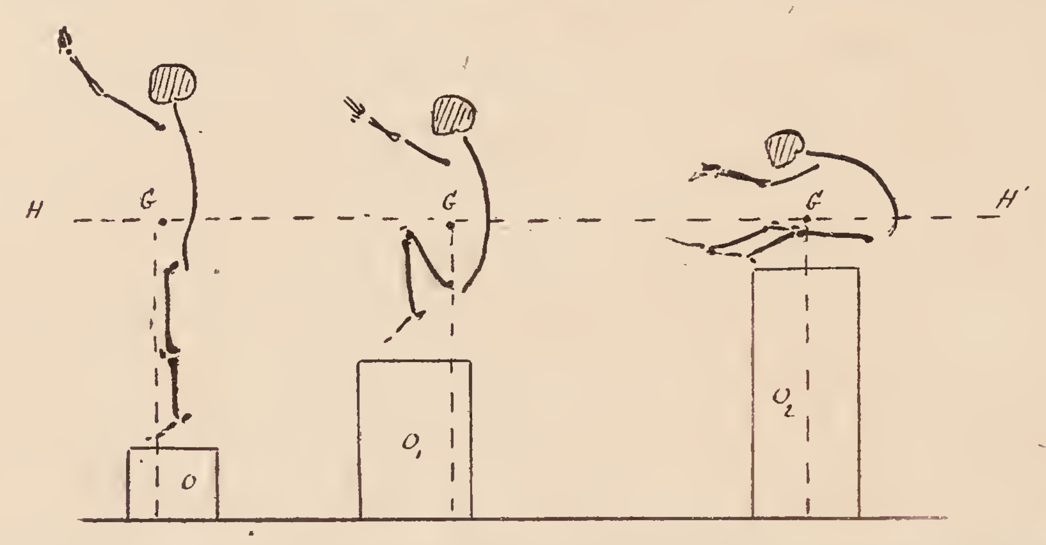


Fig. 428. — Destinée à montrer l'influence de l'attitude du corps sur la hauteur franchie dans un saut.

Dans les trois cas correspondant à un même coup de jarret le centre de gravité G a été élevé à la même hauteur HH', mais les hauteurs franchies O, O_1 et O_2 augmentent avec les raccourcissements du corps.

partir du commencement de la suspension est la hauteur réelle du saut. Dans les comparaisons faites précédemment des aires d'impulsion et des hauteurs nous avons vu que celles-ci doivent être comptées à partir du niveau où se fait le changement de sens dans la vitesse du centre de gravité, c'est-à-dire dès que le mouvement de ce dernier est ascendant.

Une fois le corps en suspension, le sauteur ne peut modifier le mouvement de son centre de gravité qui progresse suivant la loi des corps graves lancés verticalement avec une vitesse initiale donnée.

Si la direction de l'impulsion ne passe pas par le centre de gravité, le sauteur tourne autour de ce point comme dans les sauts périlleux ou involontairement dans les sauts maladroitement exécutés et qui amènent de mauvaises chutes.

La hauteur pratique du saut dépend de l'attitude du sauteur. — Dans la pratique, le saut est un moyen de franchir un obstacle et l'on compte comme hauteur du saut, la hauteur de l'obstacle franchi, c'est-à-dire la distance verticale qui sépare le point le plus bas du corps à son maximum d'élévation.

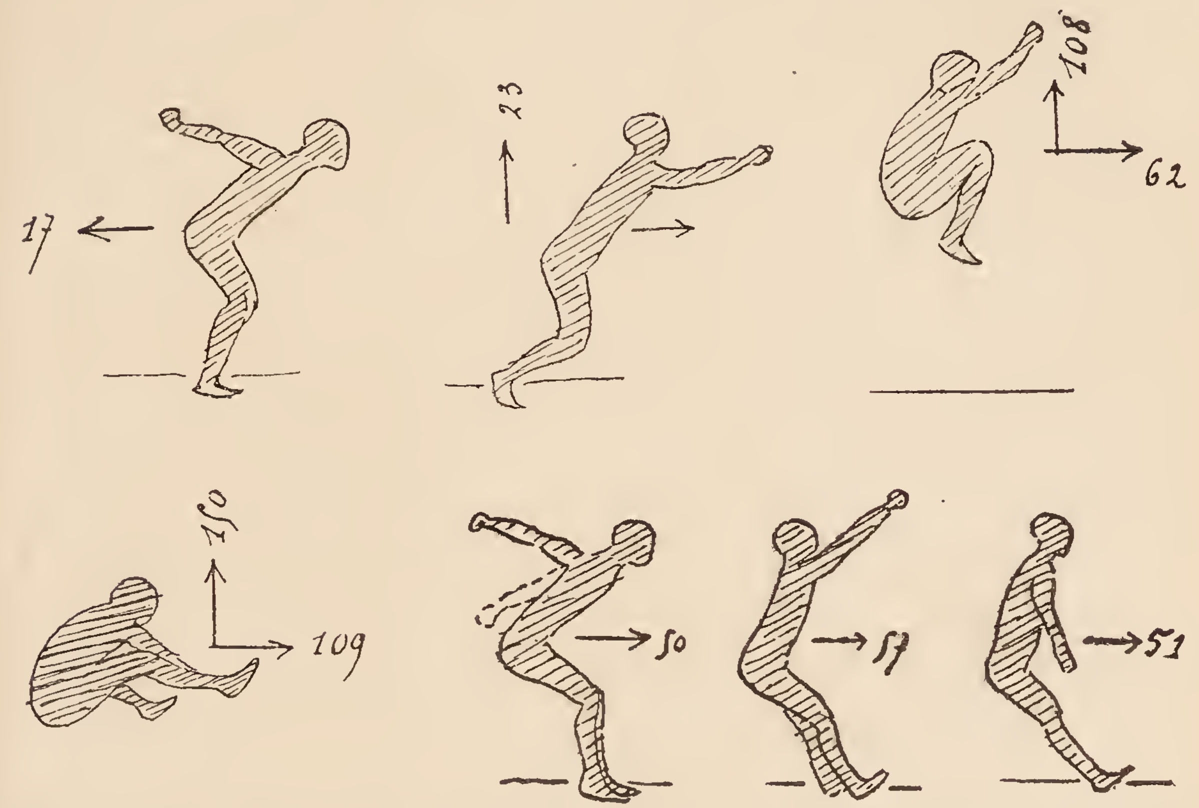


Fig. 429. — Attitudes principales du sauteur au moment de la préparation de l'impulsion, de la suspension et de la chute.

Les chiffres indiquent en millimètres les déplacements correspondants du centre de gravité dans le sens horizontal et dans le sens vertical.

La hauteur du saut ainsi considérée dépend de l'attitude du sauteur pendant la suspension autant que de l'élévation du centre de gravité due à l'impulsion.

Nous avons vu plus haut que le centre de gravité s'élève dans le corps par le fait de l'élévation des bras et des genoux. Or le mouvement du centre de gravité suit une loi fixe. Quelle que soit sa position dans le corps, son mouvement ne dépend que de l'impulsion et de la vitesse communiquée. Si le centre de gravité s'élève dans le corps, le corps tout entier descendra de la hauteur dont il s'est élevé pour l'attitude considérée.

La hauteur franchie est donc égale à la quantité dont s'élève le centre de gravité plus le raccourcissement de la longueur du corps par la flexion des jambes diminuée de la quantité dont

s'élève le centre de gravité par le fait même de ce raccourcissement (fig. 428).

J'ai déterminé expérimentalement la position du centre de gravité dans le corps dans les différentes attitudes du sauteur, données par la chronophotographie. J'ai pu constater qu'il s'élève des quantités suivantes pour un sujet de $1^m,66$ du poids de 63 kilogrammes (fig. 119 et 429).

Attitude	Quantité dont s'élève le centre de gravité.
Position initiale debout, haut. du centre de gravité.	$0^m,945$
Une jambe fléchie.	+ 4 c. 5
Deux jambes fléchies	12 c.
Un bras en abduction horizontale	1 c. 8
Deux bras — —	3 c.
Un bras en élévation verticale	2 c. 25
Deux bras — —	4 c. 5
Une jambe fléchie et un bras horizontal	4 c. 5
Deux jambes fléchies et deux bras horizontaux . .	15 c.
Une jambe fléchie et un bras vertical.	7 c.
Une jambe fléchie et deux bras verticaux	9 c. 7
Deux jambes fléchies et deux bras verticaux . . .	18 c.

Détermination de la trajectoire du centre de gravité dans un saut. — En joignant à ces données les déplacements du centre de gravité dans le plan antéro-postérieur, j'ai pu alors reconstituer la trajectoire du centre de gravité dans un saut en longueur de pied ferme en pointant pour chaque attitude la position réelle du centre de gravité dans le corps [1].

La figure 430 représente ainsi les positions successives des jambes, des bras et de l'épaule chez un homme qui exécute un saut en longueur de *pied ferme*, c'est-à-dire sans course préalable (on a retranché de cette figure les images qui précèdent et qui suivent le saut proprement dit). Des lignes ponctuées ont été tracées pour éclairer cette figure : l'une montre la direction de l'impulsion au moment où le corps quitte le sol ; l'autre, inclinée inversement, correspond à la direction dernière de la chute. La bissectrice de l'angle formé par ces deux lignes est

1. Voir Marey, *Le mouvement;* Paris, Masson, 1894.

verticale et représente l'axe de la parabole sur laquelle se mouvra le centre de gravité.

On voit cette trajectoire parabolique en ligne ponctuée et l'on

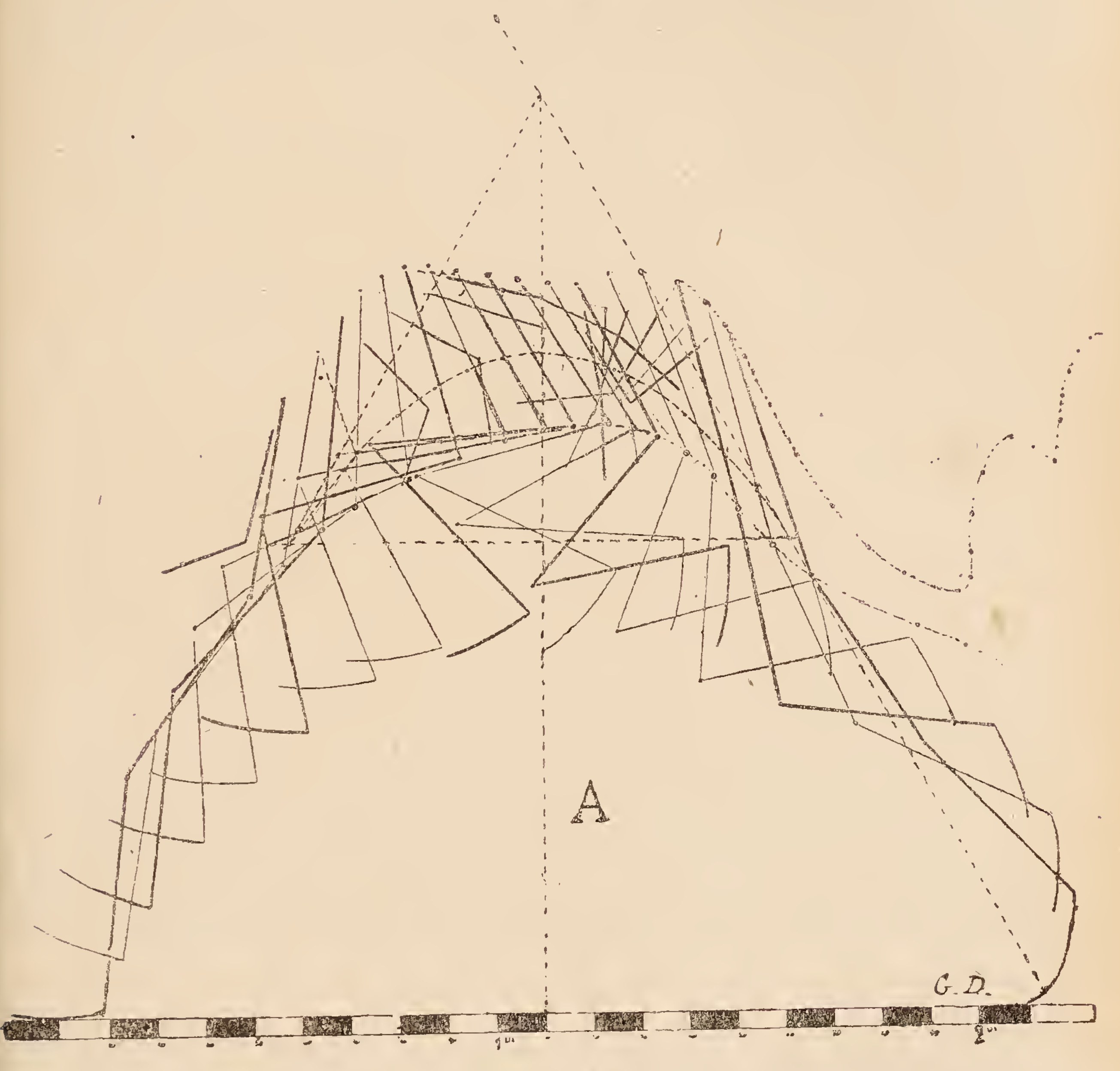


Fig. 430. — Analyse chronophotographique et détermination de la trajectoire parabolique du centre de gravité dans un saut de pied ferme (Demeny).

On voit l'axe de la parabole et les deux directions symétriques de l'effort impulsif et de la résistance à la chute. A, espace enveloppé par le membre inférieur. L'échelle indique les longueurs en décimètres. La trajectoire de la tête présente un abaissement du sommet au moment du raccourcissement des jambes et diffère sensiblement de la trajectoire parabolique.

peut constater combien elle diffère de la trajectoire décrite par le sommet de la tête. La partie supérieure du corps s'abaisse en effet si les jambes se relèvent, c'est même la condition nécessaire du maintien du centre de gravité sur sa trajectoire parabolique.

Forme de la trajectoire de la tête. — La forme de la courbe du mouvement de la tête peut être obtenue directement par réduction au moyen d'un fil de caoutchouc (voir méthode graphique de M. Marey). Cette courbe serait une parabole si le mouvement de la tête était celui du centre de gravité. Elle s'en rap-

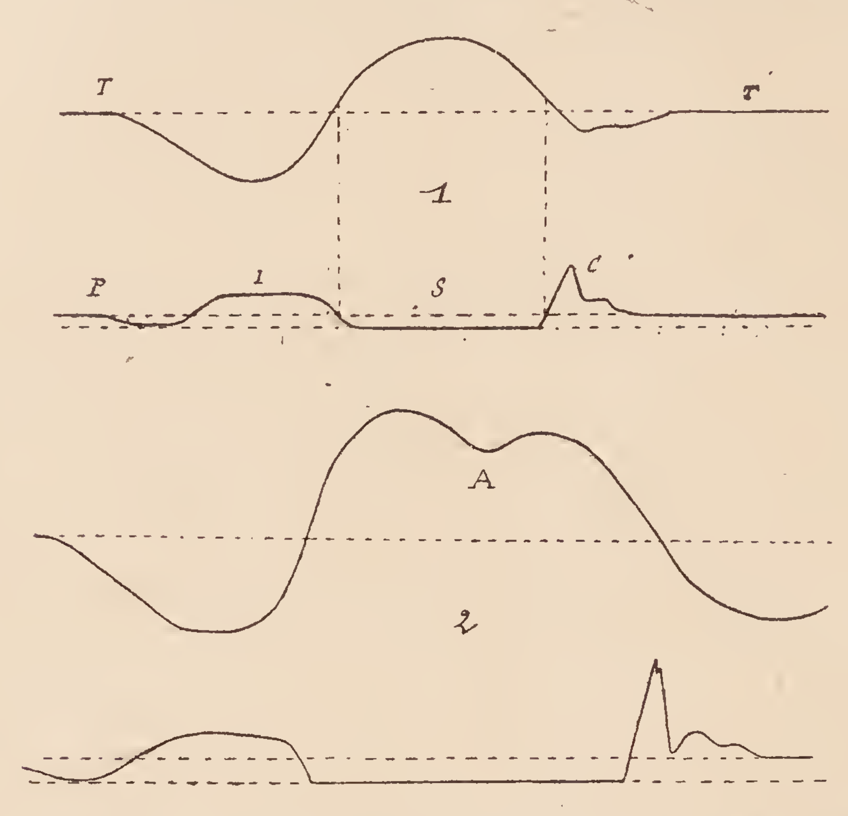


Fig. 431. — Inscription du mouvement vertical de la tête dans un saut en hauteur sur place avec le tracé dynamographique correspondant,

1. Saut sans plier les jambes ; — TT, réduction du mouvement de la tête ; — P, ligne de poids du dynamographe ; — I, pression des pieds pendant l'impulsion ; — S, suspension, — C, chute. — 2. Mêmes tracés d'un saut vertical en élevant les genoux pendant la suspension. On voit en A l'inflexion du mouvement de la tête dû à l'élévation du centre de gravité dans le corps par suite de l'élévation des genoux.

proche beaucoup lorsque les jambes restent immobiles par rapport au tronc après l'impulsion. Dans le cas contraire, lors d'une flexion marquée, la courbe présente une forte inflexion (fig. 431). La différence entre une ordonnée de cette courbe et celle de la parabole est égale à la quantité dont s'est déplacé verticalement le centre de gravité dans le corps du sauteur.

Le tracé dynamographique correspondant donne la durée relative de la suspension et de l'impulsion, l'instrument retombant à 0 dès que les pieds ont quitté le sol. Au moment de la chute un ébranlement se produit dans l'appareil par le choc des pieds.

Temps de suspension. — Le temps pendant lequel le corps reste suspendu dans l'espace dépend de la hauteur à laquelle il

s'élève verticalement ou de la profondeur à laquelle il tombe. Pour une même vitesse initiale, le temps de suspension sera maximum pour un saut vertical. Le temps de suspension ne dépend pas de la longueur du saut. Pour la même raison un boulet tombant verticalement et librement de la gueule d'une pièce de canon et un boulet lancé au même instant horizontalement par la pièce se trouveront à chaque instant dans un même plan horizontal et toucheront en même temps la surface de la

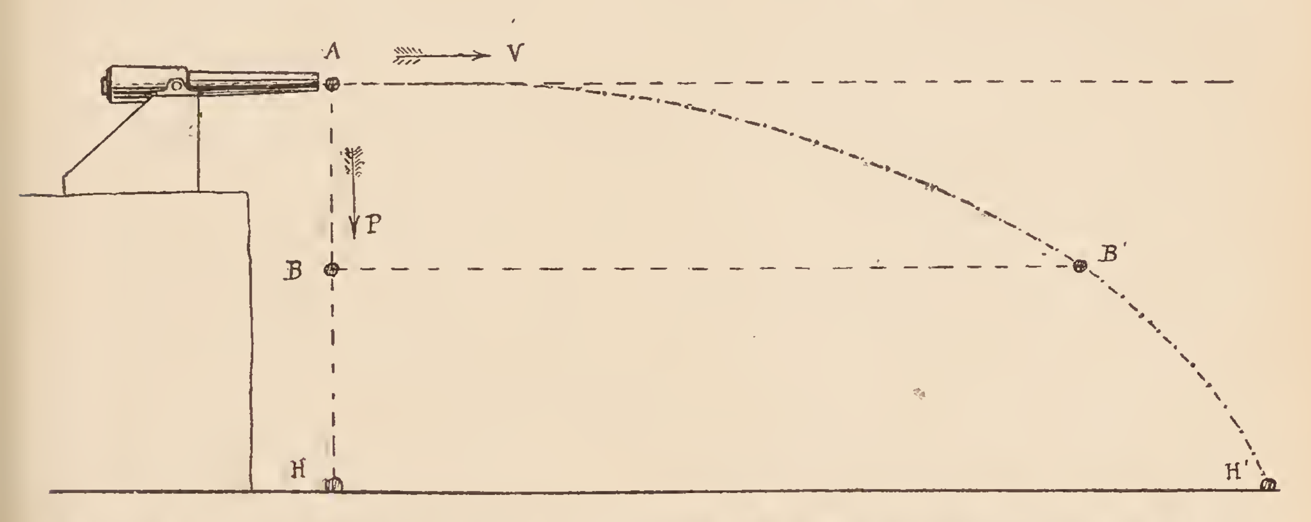


Fig. 432. — Indépendance des mouvements d'un projectile sollicité par l'impulsion de la poudre et l'attraction de la pesanteur. Comparaison avec la chute libre.

Cette figure est destinée à expliquer la longueur d'un saut précédé d'une course.

mer. Il y a indépendance des deux mouvements : la pesanteur fait tomber le boulet de la quantité AB pendant que la poudre pendant le même temps le lancerait en A′. Le boulet se trouve donc en B′ résultante des deux mouvements (fig. 432)

Attitude favorable pour franchir un obstacle. — Il y a intérêt pour un sauteur de passer sur l'obstacle à franchir dans une attitude où il laisse le plus d'espace possible entre son corps et l'obstacle. Il y arrive en se couchant horizontalement de côté sur l'obstacle et en l'enjambant pour ainsi dire. Il fait passer successivement les jambes au-dessus de la corde et tourne en roulant autour d'elle. On voit quelle faible épaisseur il présente ainsi verticalement, ce qui lui permet d'utiliser au mieux la hauteur d'élévation de son centre de gravité (fig. 436). Certains sauteurs passent même sur la corde en filant tout à fait horizontalement grâce à une rotation du corps. C'est évi-

demment là une condition encore plus favorable pour franchir une grande hauteur, mais cela est peu pratique et rentre dans la classe des sauts périlleux.

Une façon très usitée consiste à fléchir fortement les cuisses

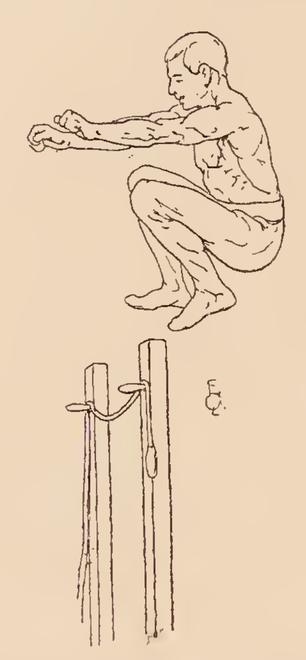


Fig. 433. — Attitude ramassée du sauteur au-dessus de l'obstacle ne donnant pas la plus grande hauteur franchie pour un même coup de jarret.

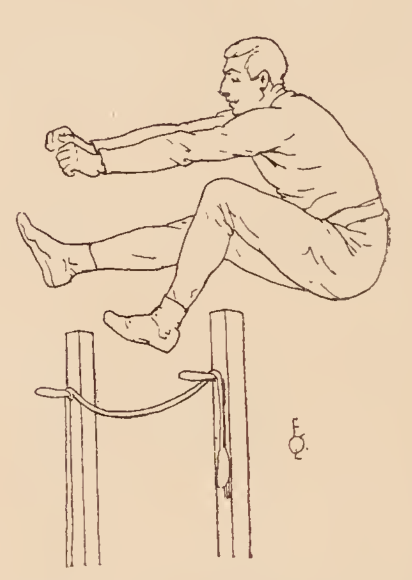


Fig. 434. — Attitude du sauteur au-dessus de l'obstacle à franchir; les cuisses fortement fléchies, les jambes étendues permettent de raccourcir assez le corps pour ne pas toucher la corde.

sur le tronc, les jambes et bras allongés en avant (fig. 435). Cette attitude n'est pas mauvaise, mais évidemment elle n'offre



Fig. 435. — Attitude avantageuse avec flexion complète des jambes sur le tronc permettant au sauteur de franchir un obstacle très élevé.

pas autant d'avantages que la première. Elle est bien préférable à l'attitude groupée (fig. 434) et surtout à l'attitude (fig. 433) où les pieds toucheront l'obstacle à coup sûr si le saut n'est pas très élevé. Le corps une fois parvenu à son maximum d'élévation redescend en repassant sensiblement par les mêmes

valeurs de la vitesse que pendant l'ascension ; il arrive ainsi au contact du sol avec la vitesse initiale du départ mais en sens contraire.

CHUTE SUR LES PIEDS. — La chute commence dès qu'il y a contact des pieds avec le sol ; elle dure tant que la vitesse du

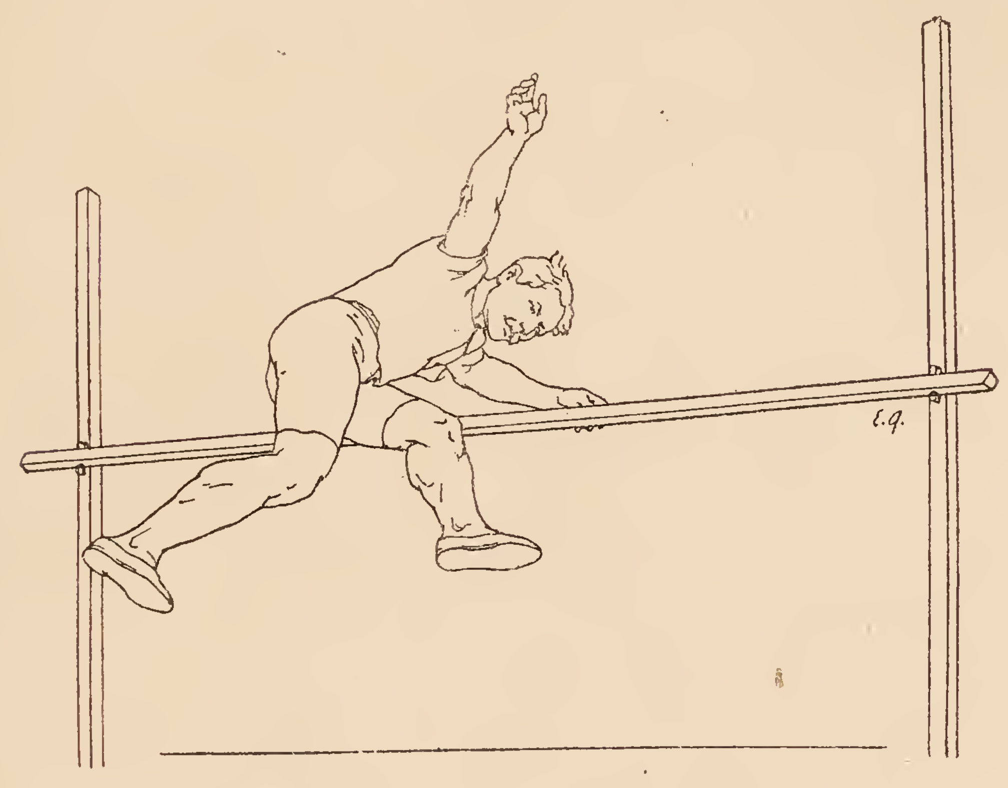


Fig. 436. — Position du sauteur franchissant la barre du sautoir le corps presque horizontal. Les pieds passent les premiers au-dessus de l'obstacle.

centre de gravité n'est pas annulée. Il s'agit d'épuiser toute la force vive que possède le corps à ce moment sans léser aucun organe. A cet effet on fait porter le choc sur les muscles extenseurs des membres inférieurs. Ceux-ci doivent toucher terre légèrement fléchis et l'on résiste activement à la flexion exagérée qui tend à se produire. Le travail résistant produit par les extenseurs de tous les segments : cuisse, jambe, pied ralentit progressivement la vitesse du centre de gravité et finit par l'annuler. L'action du membre inférieur devra pour cela être dirigée en sens inverse de la vitesse de chute. Le poids du corps ajoute son action retardatrice à celle des muscles extenseurs.

CHUTE SUR LES TALONS ET SUR LA POINTE DES PIEDS. — Plus la chute est élastique plus elle dure, la pression des pieds demeure dans ce cas supérieure au poids du corps d'une quantité cons-

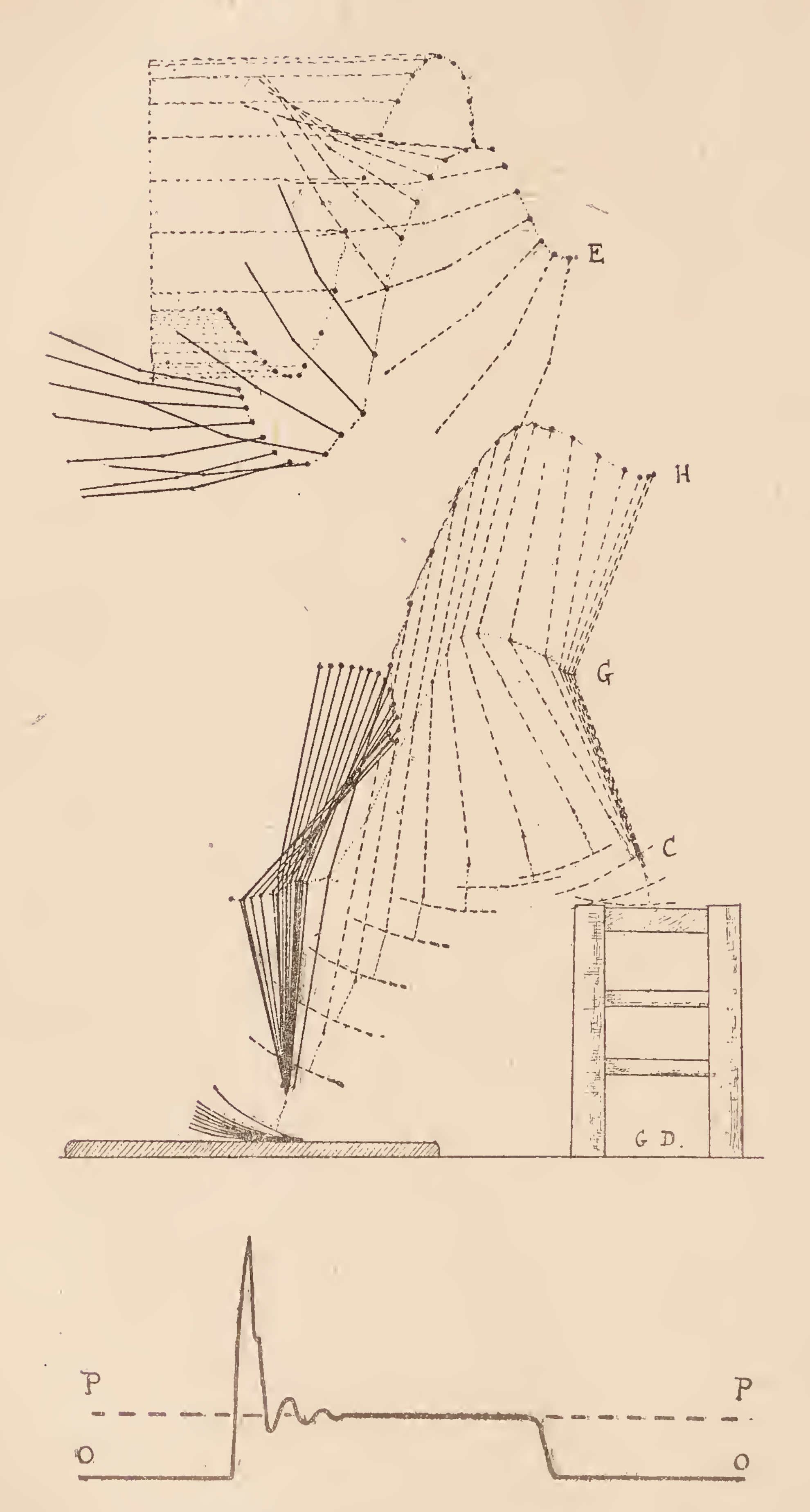


Fig. 437. — Analyse chronophotographique d'une chute sur les **talons**, jambes raidies, et tracé dynamographique correspondant.

On voit la brutalité avec laquelle la vitesse de la tête T et de la hanche H s'annulent au moment du choc en produisant une commotion dans les centres nerveux. Le tracé du dynamographe montre la valeur considérable de la pression pendant le choc revenant après quelques oscillations à la valeur du poids du corps.

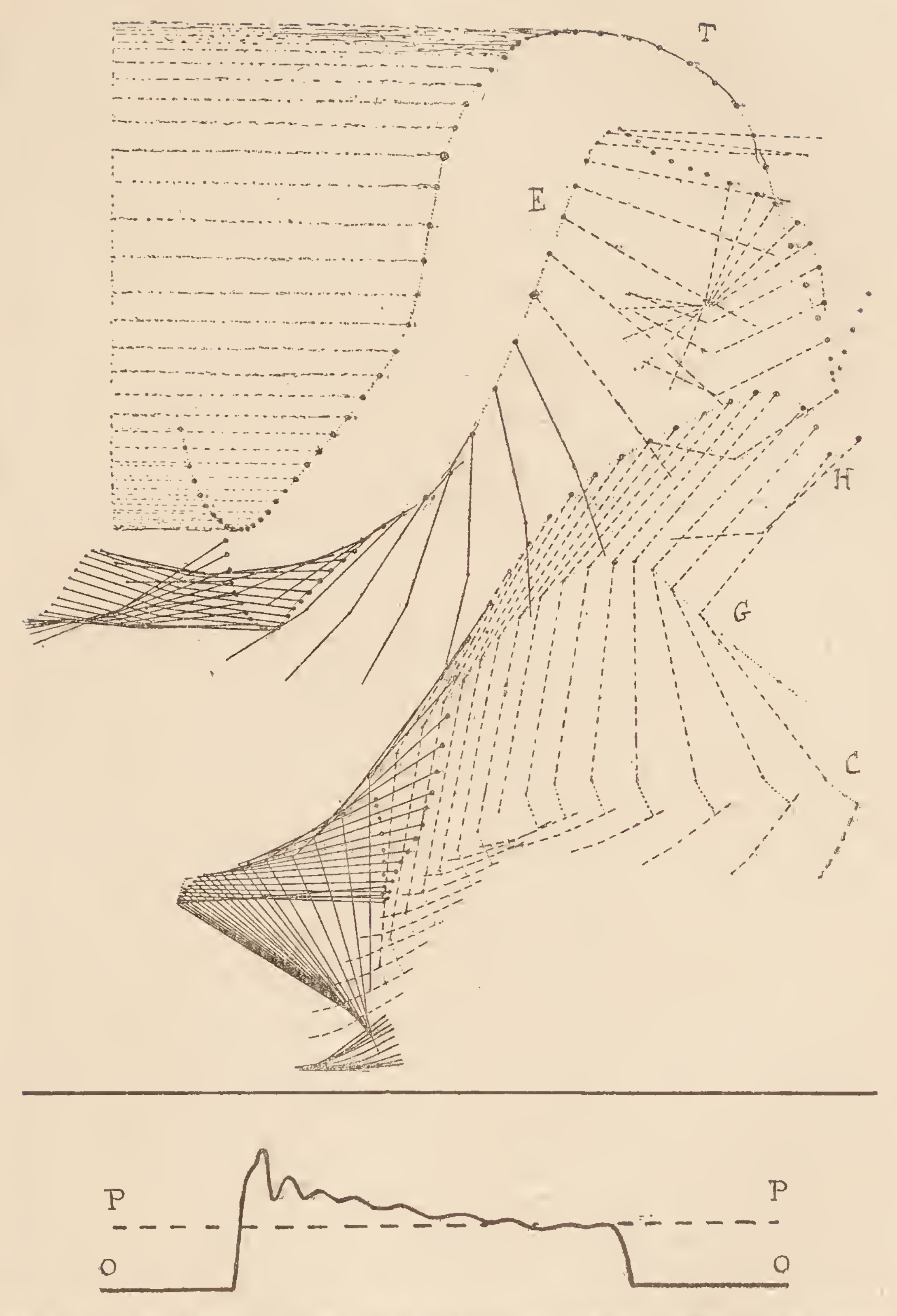


Fig. 438. — Analyse chronophotographique d'une chute élastique sur la pointe des pieds et tracé dynamographique correspondant

T, E, H, G, C, trajectoires respectives de la tête, de l'épaule, de la hanche, du genou et de la cheville. On voit la vitesse de la tête s'annuler progressivement sous l'effort résistant des muscles extenseurs des membres inférieurs. La pression des pieds acquiert une valeur moindre que dans le saut précédent ; elle diminue progressivement jusqu'au poids en lui restant toujours supérieur.

tante, la vitesse diminue de quantités égales dans des temps égaux, le mouvement est presque uniformément retardé.

Dans une chute sur les jambes raides ou sur les talons, la

vitesse du corps s'annule dans un temps très court, la pression des pieds augmente immédiatement et présente une grande valeur pour retomber aussitôt et devenir égale au poids du corps.

Les figures 437 et 438 montrent l'analyse cinématique d'une chute raidie et d'une chute élastique, ces figures renferment les tracés dynamographiques correspondants; on y voit dans la chute raidie le choc violent des pieds; dans la chute élastique au contraire la pression d'abord supérieure au poids du corps diminue peu à peu et arrive graduellement après quelques variations à la valeur de ce poids.

La force vive est alors absorbée par les muscles suivant les lois du choc.

Manière d'annuler la vitesse au point de chute. — Nous savons que si un corps tombe d'une certaine hauteur, il arrive au sol possédant une certaine vitesse dont le carré multiplié par la masse du corps s'appelle la puissance vive et représente le double du travail effectué par la pesanteur pendant la chute.

Au moment du choc, divers phénomènes se produisent suivant la nature du corps et du sol.

Si l'un et l'autre sont parfaitement élastiques, le sol se déprime et le corps s'aplatit, mais, aussitôt que la vitesse du corps sera devenue nulle, les réactions moléculaires dues aux déformations produites tant dans le corps que dans le sol restitueront en sens contraire toute la force vive perdue par le corps, c'est-à-dire un travail égal à celui de la pesanteur : le corps rebondira à la hauteur d'où il est tombé (fig. 439).

Si le sol est parfaitement élastique et le corps ne l'est point, une partie de la force vive restituée par le sol sera employée à déformer le corps, aussi celui-ci ne rebondira plus qu'à une faible hauteur (fig. 439). Si c'est le sol qui n'est point élastique le corps s'y enfoncera sans déformation avec fort peu de rebond. Si enfin ni le corps ni le sol ne sont élastiques, toute la force vive du corps s'épuisera en déformations et la vitesse s'annulera presqu'instantanément.

Dans tous les cas, la somme des travaux élémentaires dus au déplacement des molécules du corps, du sol et des milieux environnants est toujours égale à la perte totale ou partielle

de force vive que subit le corps après le choc. La déformation du corps sera d'autant moindre que celle du sol sera plus grande.

C'est pour cette raison que l'on peut impunément se laisser tomber à l'eau dans la position verticale, toute la puissance vive que possède le corps au moment du choc se communiquant

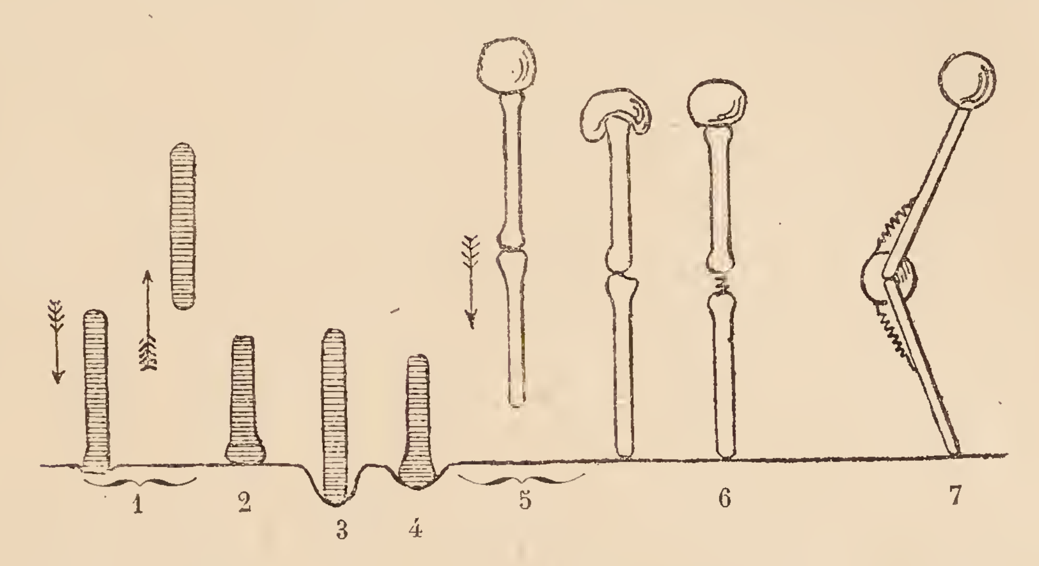


Fig. 439. — Différents cas qui se présentent dans la chute d'un corps suivant l'élasticité de ce corps et celle du sol.

Rebondissement d'un corps élastique sur un sol élastique ; — 2. Déformation d'un corps non élastique sur un sol élastique ; — 3. Déformation du sol mou sous l'action du corps élastique ; — 4. Déformation du corps et du sol ; — 5. Déformation du cerveau sous l'action d'une chute raidie ; — 6. Déformation moindre par l'interposition d'un ressort entre les 2 segments ; — 7. Déformation nulle, les segments étant fléchis et reliés par un ressort.

de proche en proche aux molécules de l'eau et servant à les déplacer. Sur un tas de sciure de bois ou de toute autre substance finement et irrégulièrement divisée, le partage du travail se fait encore assez avantageusement pour le corps, tandis que sur des dalles de marbre, sur un sol gelé, la grande élasticité de ces surfaces restituant aussitôt tout le travail communiqué, c'est dans le corps lui-même que doit s'épuiser toute la force vive; il est alors nécessaire de la distribuer sur des organes susceptibles de se déplacer sans grand dommage pour l'organisme afin de ne pas s'exposer à des désordres d'une extrême gravité.

En effet, si deux segments dans le prolongement l'un de l'autre viennent normalement au contact du sol élastique animés d'une force vive considérable, cette force vive, restituée presqu'aussitôt par le sol se communique aux molécules voisines et de proche en proche à toutes les molécules du corps. S'il existe

donc le long des deux segments ou bien à leur extrémité des parties non élastiques ou faiblement élastiques, ces parties se déformeront.

Si l'on interpose entre les deux segments un coussin de matière élastique, un ressort à boudin, une partie de la force étant employée à la déformer, il ne parviendra à l'extrémité qu'un ébranlement moindre et plus tardif (fig. 439). Si les segments sont articulés, fléchis et maintenus par un lien élastique tendant à empêcher la flexion de s'exagérer, nous voyons que la plus grande partie de la réaction du sol tendra à étirer le ressort ou le muscle, elle s'épuisera dans ce dernier et ne parviendra que progressivement à l'extrémité avec une intensité qui sera inverse de l'allongement subi par le muscle. La vitesse du point extrême à l'opposé du point de contact avec le sol s'annulera moins brusquement.

Toutes ces dispositions se retrouvent dans le corps. Celui-ci tombant d'une certaine hauteur verticale, arrive au sol avec une vitesse déterminée. Il possède une force vive qui est annulée quand le corps arrive au repos. Cette force vive s'est donc épuisée en partie dans le sol en produisant des déformations suivant son degré de dureté, en allongeant les muscles, en étirant les ligaments.

Il faut, avant tout, faire supporter tous les déplacements, toutes les déformations par des organes solides, peu sensibles et de telle sorte qu'il n'arrive plus au cerveau qu'un ébranlement modéré et supportable.

Si l'on tombait sur les talons le corps droit, les jambes tendues, la tête droite, tout le corps se rapprocherait évidemment d'une colonne solide, et comme nous l'avons vu, le choc se transmettant presqu'intégralement au cerveau, celui-ci tendrait à s'aplatir contre la base du crâne vu sa faible élasticité ; il subirait tous les effets d'une compression violente et instantanée qui amènerait la syncope.

Au contraire, en tombant sur la pointe des pieds, les jambes, la tête et le tronc légèrement fléchis, la force vive de la masse du corps s'épuise successivement sur les fléchisseurs des orteils, sur les muscles extenseurs du pied, de la jambe, de la cuisse, du tronc et de la tête ; sur les ligaments articulaires des os du tarse, des genoux, ligaments ronds de l'articulation coxo-

fémorale, ligament interarticulaire de la symphyse sacro-iliaque tous les disques intervertébraux et ligaments jaunes des lames des vertèbres, de sorte qu'il ne s'en transmet au cerveau qu'une quantité fort minime qui dépend de la hauteur de chute du poids du corps et de la force des muscles.



Fig. 440. — Disposition pour montrer l'influence de la tension préalable des muscles dans le saut.

AB, cordon passant sur l'épaule; — D, dynamomètre ; — C, crochet d'attache.

Dans le saut en hauteur ou profondeur c'est toujours la pointe des pieds qui doit toucher le sol la première, dans les sauts en longueur il y a avantage pour la longueur du saut à toucher par le talon la jambe étendue, la vitesse acquise horizontalement rétablit l'équilibre.

Tension acquise par les muscles. — Au moment de la chute nous avons vu que l'on pouvait prolonger utilement la tension des muscles et l'utiliser immédiatement pour refaire un autre saut qui sera sans plus d'effort plus haut que le premier. C'est l'avantage des sauts successifs. La tension des muscles extenseurs acquiert ainsi une valeur supérieure à celle que l'on obtiendrait par la volonté seule.

Nous avons essayé de tendre nos muscles comme dans la chiquenaude en passant sur les épaules une bretelle attachée au plancher (fig. 440)

Une disposition spéciale permettait de rompre ce lien quand on l'avait fortement bandé au moyen d'un effort énergique d'extension des jambes. Au moment de la rupture il se produisait une projection du corps en hauteur mais ce saut involontaire n'était pas comparable à celui précédé d'un sursaut.

La jambe doit toujours être dirigée au moment du poser du pied suivant la tangente au dernier élément de la trajectoire du centre de gravité, nous y reviendrons à propos des sauts obliques.

Saut oblique de pied ferme. — Les sauts ont lieu en longueur



Fig. 441. — Préparation à l'impulsion du saut en longueur montrant la flexion de tous les segments du membre inférieur, la position des bras et l'inclinaison du corps.

ou en hauteur suivant la direction première de l'impulsion, leur mécanisme est semblable à celui des sauts en hauteur. Dans un saut oblique de pied ferme (fig. 441) la préparation est la même que dans le saut vertical, mais l'impulsion se fait pendant une chute du corps en avant.

Le rayon du membre impulsif change de direction pendant l'appui, sa dernière direction se confond avec la tangente au premier élément de la trajectoire du centre de gravité (fig. 442).

La longueur du saut dépend de la vitesse initiale communiquée à la fin de l'impulsion et de la dernière direction de celle-ci. Le maximum correspond à l'angle de 45° avec l'horizontale. L'attitude au moment de la chute influe sur la longueur du saut. Les jambes doivent être allongées obliquement en avant dans la direction de la tangente à la trajectoire au point

de chute. Le pied touche terre par le talon et la vitesse acquise par le corps est annulée par les muscles extenseurs résistant

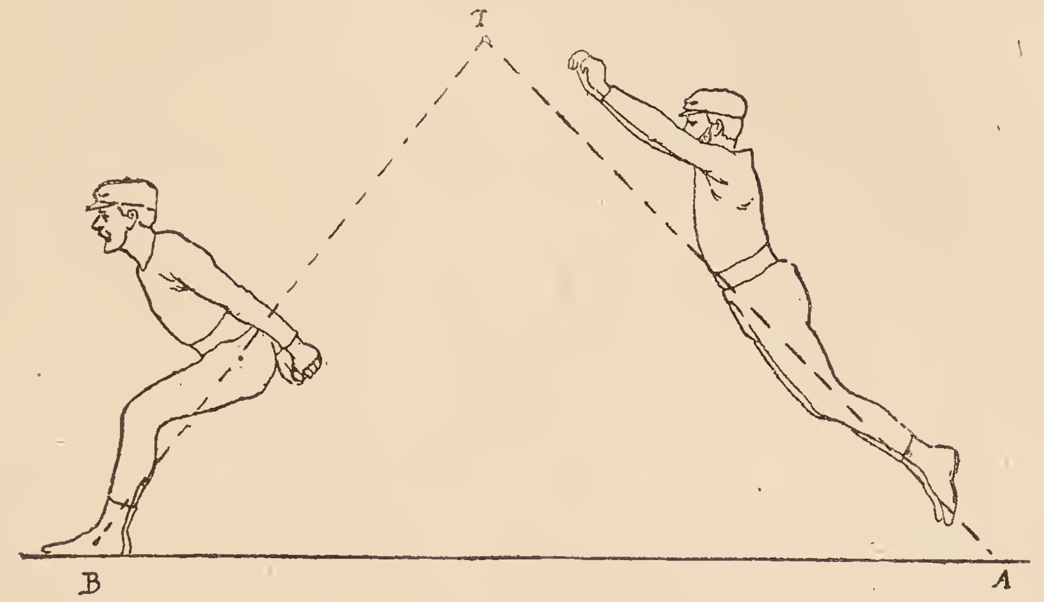


Fig. 442. — Inclinaison du rayon des membres inférieurs au départ et à l'arrivée d'un saut en longueur de pied ferme.

TA et TB, tangentes symétriques aux premier et dernier éléments de la parole décrite par le centre de gravité représentant la direction de l'effort d'impulsion et de l'effort d'amortissement des jambes.

à la flexion qui tend à se produire. Le corps est bientôt immobile, en station accroupie, puis se redresse (fig. 443).

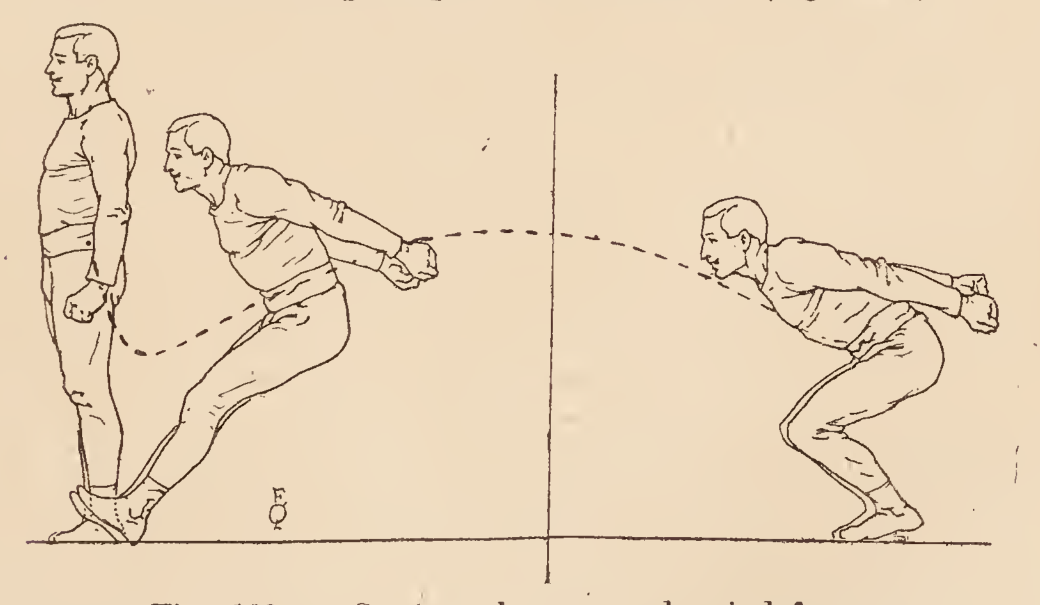


Fig. 443. — Saut en longueur de pied ferme.

Attitude préparatoire, attitude à la chute et position finale en station droite. Pendant la suspension les bras ont été abaissés vivement, ils se sont élevés au moment de la chute pour s'abaisser ensuite.

Rôle des bras. — Le rôle des bras est aussi important pendant la suspension et au moment de la chute que pendant l'impulsion. Ils règlent la rotation du corps autour du centre de

gravité lorsque l'impulsion ne passe pas par ce point au départ. Les bras exécutent un balancement complet (fig. 444) pendant

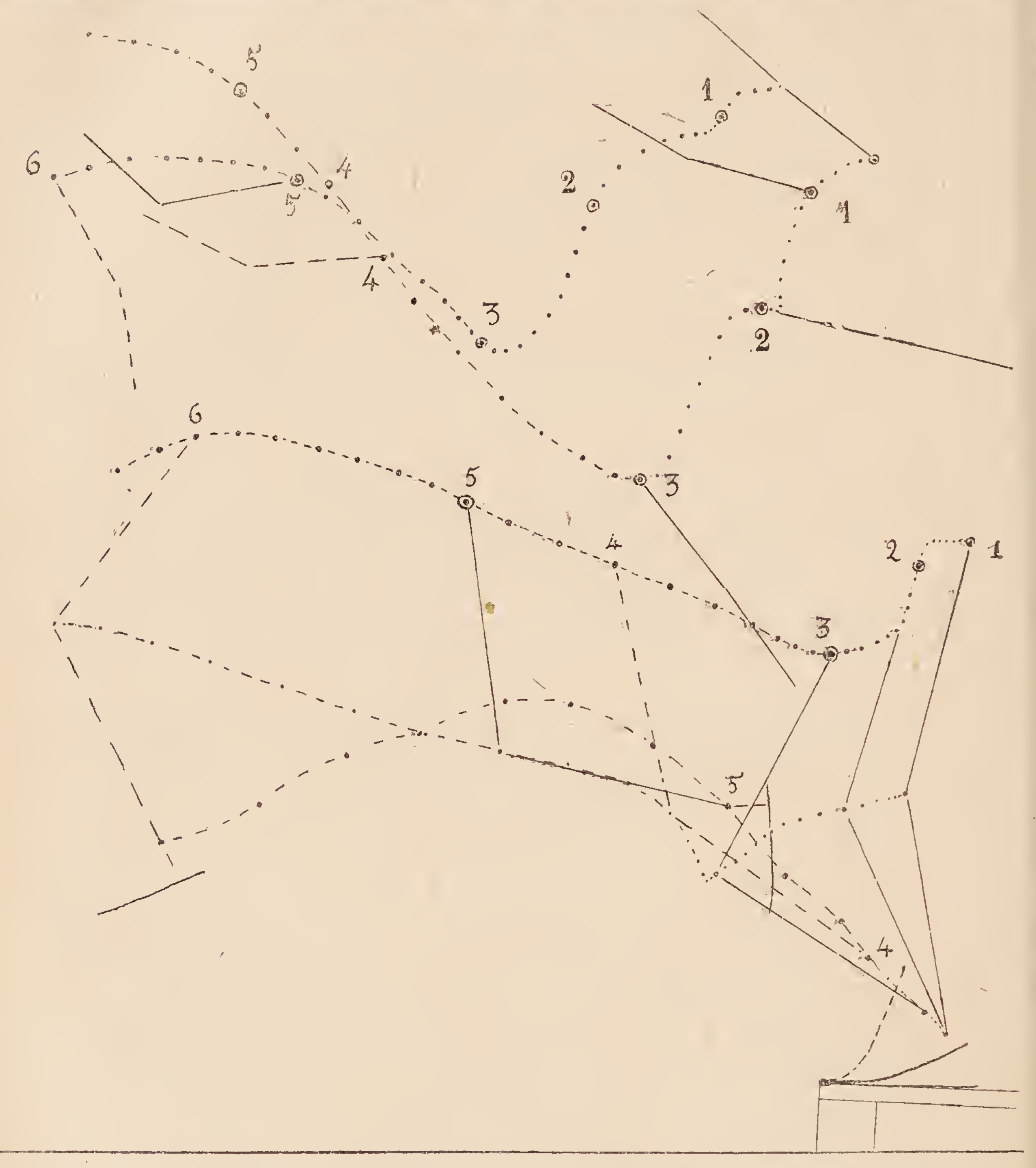


Fig. 444. — Analyse chronophotographique d'un saut en longueur de pied ferme.

On n'a laissé dans l'épure que les trajectoires de la tête, de l'épaule, de la hanche, du genou et de la cheville et les positions des bras et du membre inférieur toutes les dix images. Les mêmes chiffres indiquent les positions correspondantes dans l'espace. On voit l'inclinaison du corps et le point de rebroussement de la trajectoire du genou au moment du départ.

la suspension : abaissement et abduction en arrière suivis de l'élévation au moment de la chute. Nous avons vu que le balancement peut être remplacé par un mouvement de circumduction.

Dans le saut en hauteur et profondeur, ils s'élèvent au moment de la chute et contribuent à diminuer la vitesse du

corps en augmentant la tension des muscles extenseurs comme dans l'impulsion.

Les bras agissent pour rétablir l'équilibre au point de chute;



Fig. 445. — Analyse chronophotographique d'un saut en longueur avec élan au moment de l'appel du pied.

1, 2, 3, 4, 5, 6, images correspondant à la période d'appui. On voit la trajectoire de la hanche s'élever après l'appel et l'obliquité du rayon du membre inférieur au moment du lever être moindre que dans la course vive (fig. 336).

suivant la vitesse que possède encore à ce moment le tronc, ils se portent plus ou moins vite en avant pour éviter de tomber sur la face ou sur le dos.

Le rôle des bras est donc essentiellement variable. C'est avec l'attitude des membres inférieurs au moment du poser l'un des plus importants facteurs d'une bonne chute. L'idéal dans le saut est de mettre une harmonie parfaite entre l'action des bras et l'action des jambes pour communiquer au corps la plus

grande vitesse initiale possible et annuler ensuite toute cette vitesse sans danger en restant presque sur place.

La plus mauvaise condition d'équilibre dans un saut en longueur est de tomber sur la pointe des pieds le corps droit les jambes fléchies et les bras tendus immobiles comme on l'indique

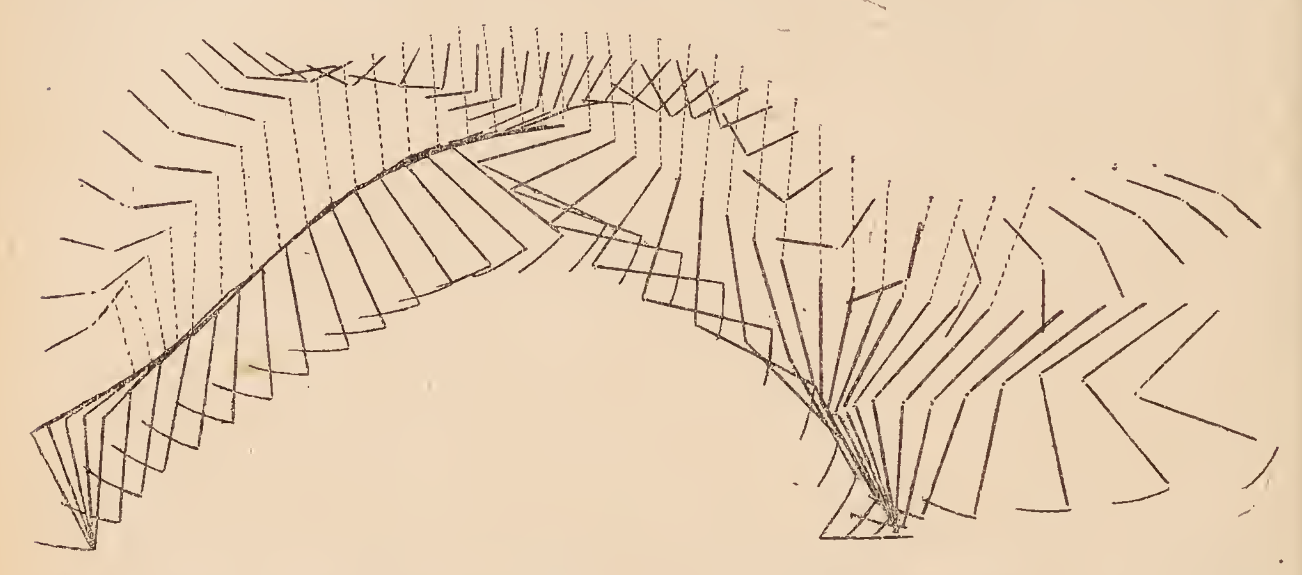


Fig. 446. — Analyse cinématique d'un saut mixte en longueur et hauteur avec élan.

Course ; — impulsion ; — suspension ; — chute.

dans certains manuels. On peut dire que cette chute est impossible à exécuter en restant sur place. On doit forcément ou tomber en avant ou continuer à courir (fig. 446 *bis*).

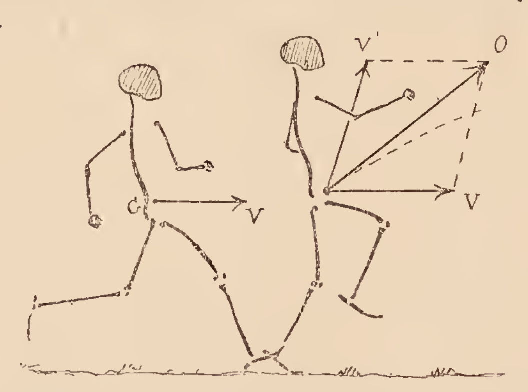


Fig. 446 *bis*. — La résultante de la vitesse de la course V et du coup de jarret V' est une vitesse oblique O qui allonge le saut.

Aussitôt les pieds à terre, le corps tend à tourner autour de ceux-ci, en vertu de la vitesse horizontale V_h qu'il possède au moment de la chute, et la face serait ainsi projetée contre terre.

Si l'on allonge trop les jambes en avant on risque de glisser sur les talons et de tomber en arrière sur les ischions.

L'effet du balancement rapide des bras d'arrière en avant est de projeter le corps en arrière et de diminuer ainsi la vitesse horizon-

tale de la quantité dont le centre de gravité est déplacé dans le corps.

Dans un saut en longueur il n'y a pas chute verticale, mais une vitesse horizontale à annuler : il n'y a donc aucun inconvénient à tomber sur les talons.

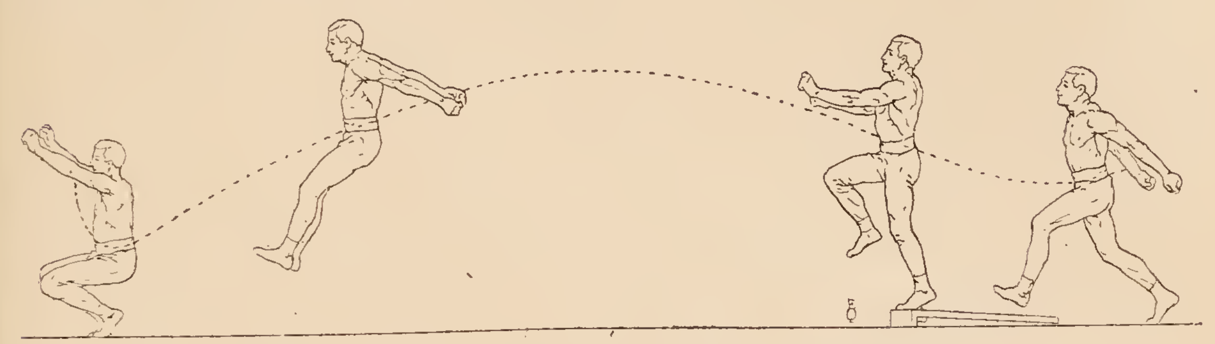


Fig. 447. — Saut en longueur avec élan.

On voit les attitudes caractéristiques de la préparation, de l'impulsion, de la suspension et de la chute.

Sauts précédés d'une course. — La vitesse communiquée au corps par la course se conserve après le coup de jarret et l'appel a seulement pour but de détacher le corps de terre (fig. 445).

La vitesse de la course v se compose avec la vitesse v' due au coup de jarret produisant le saut et la résultante o est toujours abaissée vers l'horizon ; en un mot tout élan allonge le saut (fig. 446 *bis*).

Influence de la vitesse de la course préalable. — Les analyses chronophotographiques montrent qu'au moment de l'appel la vitesse du corps diminue, le membre à l'appui se fléchit fortement, puis s'étend pour communiquer au corps une vitesse verticale dont l'effet est de prolonger la durée de la suspension[1] (fig. 446).

1. Le problème revient à déterminer la trajectoire d'un mobile animé d'une vitesse initiale horizontale v_1 et auquel est subitement appliquée une percussion sous l'influence de laquelle il prend une vitesse v_2 dans une direction faisant avec l'axe des x ou l'horizontale l'angle φ. M. Lamic nous a communiqué l'équation de la parabole dans ce cas.

Le point où la parabole coupe l'horizontale a pour coordonnées :

$$y = o \qquad x = \frac{2v_2 \sin \varphi \ (v_1 + v_2 \cos \varphi)}{g}$$

C'est le point de chute qui est d'autant plus loin que φ est plus grand.

Projection de l'accélération au temps t

$$\frac{d^2x}{dt^2} = o \qquad \frac{d^2y}{dt^2} = - g$$

Projection de la vitesse.

$$\frac{dx}{dt} = v_1 + v_2 \cos \varphi \qquad \frac{dy}{dt} = - gt + v_2 \sin \varphi$$

Coordonnées du point au temps t

$$x = (v_1 + v_2 \cos \varphi) \ t \qquad y = - \frac{gt^2}{2} + v_2 \ t \sin \varphi$$

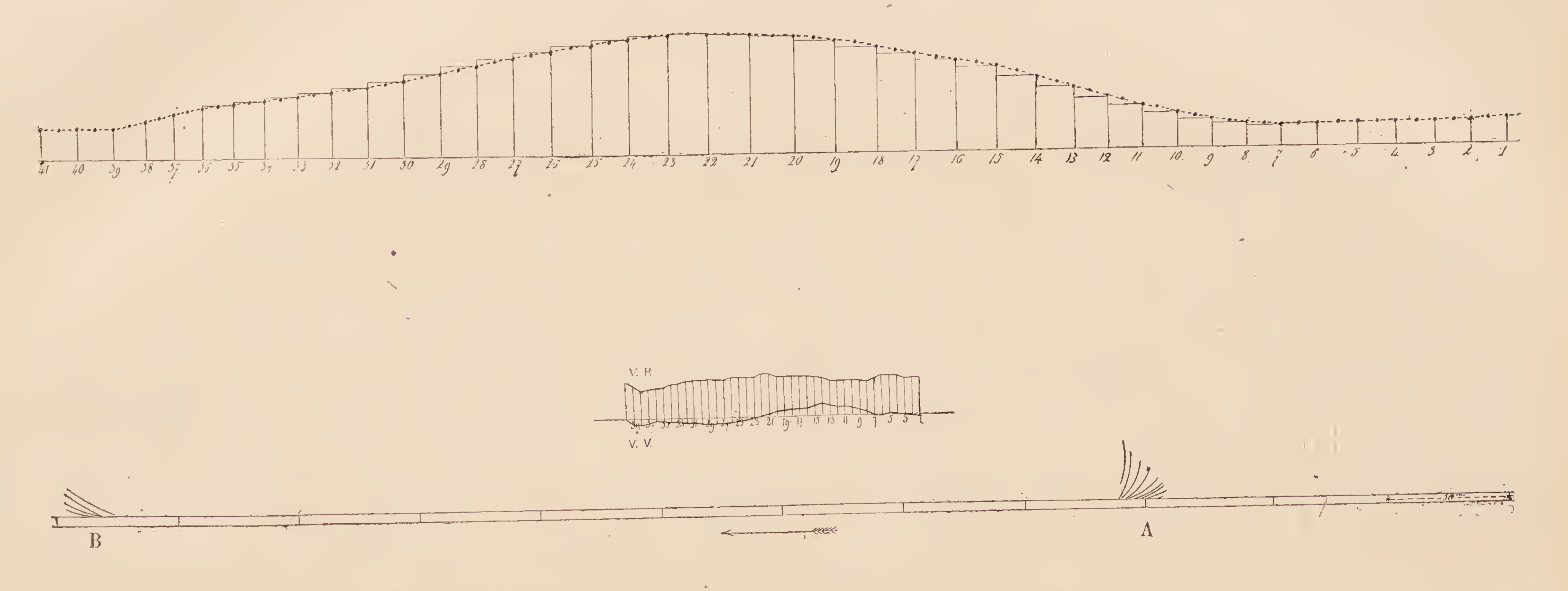


Fig. 448. — Trajectoire de la tête dans un saut en longueur précédé d'une course.

Le niveau du sol est indiqué par une échelle divisée en 50 centimètres. On voit l'appel du pied se faire en A et la chute sur les **deux pieds** en B. La courbe VH représente les variations de la vitesse de la tête en projection horizontale ; — VV les variations de la même vitesse projetée verticalement. Les numéros correspondent aux positions de la tête dans l'espace, indiqués sur la trajectoire. On voit que la vitesse horizontale de translation du corps se conserve pendant toute la suspension du saut. La courbe de la vitesse verticale indique la nature de l'impulsion de la jambe. Cette vitesse, **d'abord positive, devient ensuite négative, la chute due à la pesanteur étant indépendante de la vitesse horizontale.**

Pendant la durée de celle-ci la vitesse horizontale reste sensiblement constante (voir les fig. 447 et 448) et égale à celle de la course préalable. La longueur du saut dépend donc de cette vitesse horizontale, elle est égale à l'espace parcouru pendant la suspension, c'est-à-dire pendant le temps que le corps met à monter et à descendre sous l'influence du coup de jarret. En réalité le saut précédent est une combinaison d'un saut en hauteur et d'une course.

Un peu avant la chute on observe un ralentissement de la



Fig. 449. — Saut en longueur avec élan dont la chute est mal assurée parce que le mouvement des bras a été retenu et que les jambes se sont fléchies trop tôt.

masse du corps dû à l'allongement des jambes en avant et peut-être aussi à la résistance de l'air. La chute est extrêmement difficile, souvent le sauteur doit continuer sa course pour ne pas tomber la face contre terre (fig. 449 et 450).

Dans le saut en hauteur précédé d'une course (fig. 451 et 452), la grande vitesse de la course est inutile car elle donnerait à l'impulsion une direction trop oblique et cette impulsion doit être la plus verticale possible. Mais la vitesse de la course est utilisée voici comment : le sauteur en détruit une grande partie en se rejetant en arrière et en fléchissant fortement le membre qui donne l'appel. Il met les muscles extenseurs dans une tension favorable à l'intensité de l'impulsion qui va suivre immédiatement. C'est ainsi que l'on explique que faisant l'appel d'un seul pied, on puisse sauter plus haut que dans le saut de pied ferme où les deux membres inférieurs se détendent à la fois.

Composantes tangentielles. — Dans les sauts en longueur les

composantes tangentielles de la pression du pied deviennent très importantes. La figure 453 montre leurs valeurs relatives dans le saut en longueur sur place, dans le saut en hauteur et dans le saut en longueur et hauteur précédé d'une



Fig. 450. — Chute de deux sauts en longueur.

Dans le premier au moment de la chute les bras étaient en arrière et l'équilibre final a été rétabli avec leur balancement ; dans le second les bras ont été immobilisés et il en est résulté une chute défectueuse.

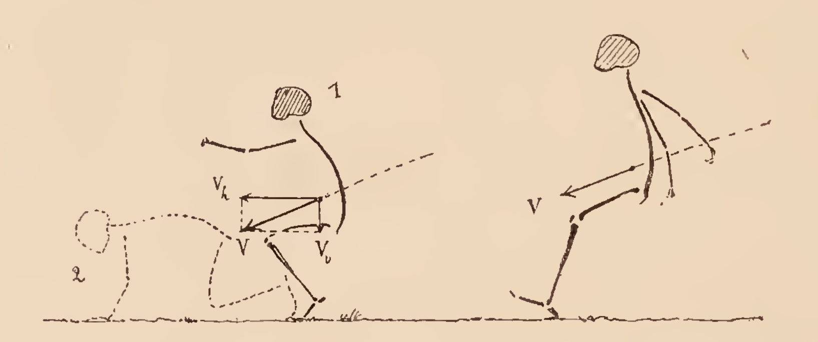


Fig. 450 *bis*. — Chute sur les talons ou sur la pointe des pieds après un saut en longueur.

course. On voit dans ces deux derniers sauts la pression être d'abord négative puis positive, ce qui correspond au travail résistant et au travail moteur des muscles. Dans le saut en hauteur la pression est négative seulement ce qui corrobore bien l'observation précédente de l'action de la jambe au moment de l'appel. Nous avons vu qu'elle produit du travail résistant pour transformer la vitesse horizontale en vitesse verticale d'ascension.

Influence de la nature du sol. — La *nature des surfaces d'appui* est toujours des plus importantes à considérer ; en

effet dans le cas de surfaces polies et glissantes, mais solides, le saut en hauteur, dû à une impulsion absolument verticale serait seul possible. Le corps s'élèverait dans ce cas verticalement et retomberait sur les premières empreintes. Toute direction d'impulsion oblique à la verticale, nécessite le développement de résistances de frottement et l'angle limite de cette direction avec la verticale est l'angle de frottement déjà men-

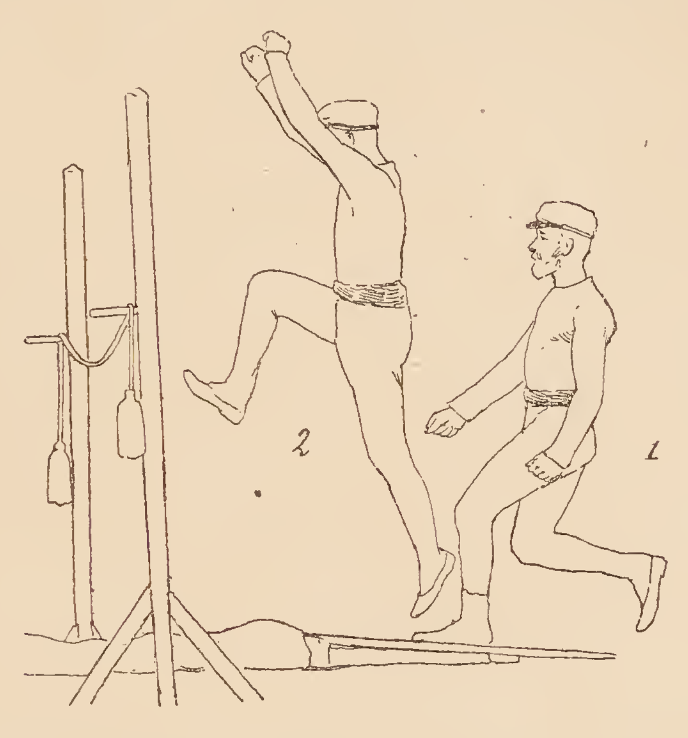


Fig. 451. — Appel du pied dans un saut en hauteur précédé d'une course. On voit en 1 le corps rejeté en arrière et en 2 la poussée de la jambe presque verticale

tionné dans la marche ; dans le cas contraire, la chute est inévitable.

Si le sol n'est pas résistant, le travail de l'impulsion ne sera plus nul pour la terre, une partie sera absorbée par des déplacements du sol et les éléments de la trajectoire, flèche et corde seront diminués.

Mais cet état de mollesse du sol sera avantageux au point de chute, justement pour la raison qu'une partie de la force vive sera absorbée en déformations et c'est pourquoi l'on a tout intérêt à placer des surfaces dures et enduites de résine à l'endroit de l'appel des pieds et des couches épaisses de sable ou de sciure de bois à l'endroit de la chute. La surface d'appel pour les sauts en longueur de pied ferme serait même avantageusement inclinée du côté où l'on saute, justement pour permettre une inclinaison plus grande de la direction impul-

sive qui est, comme nous le verrons, une condition de la longueur du saut.

La surface d'appui de la chaussure devra être la plus large et la plus plate possible pour augmenter encore les frottements et pour faciliter la chute et l'équilibre final.

Ce que nous avons dit au sujet de l'attitude des jambes ou de leur direction à l'arrivée, relativement à la longueur du saut, se rapporte au cas d'un sol non glissant, assez ferme et,

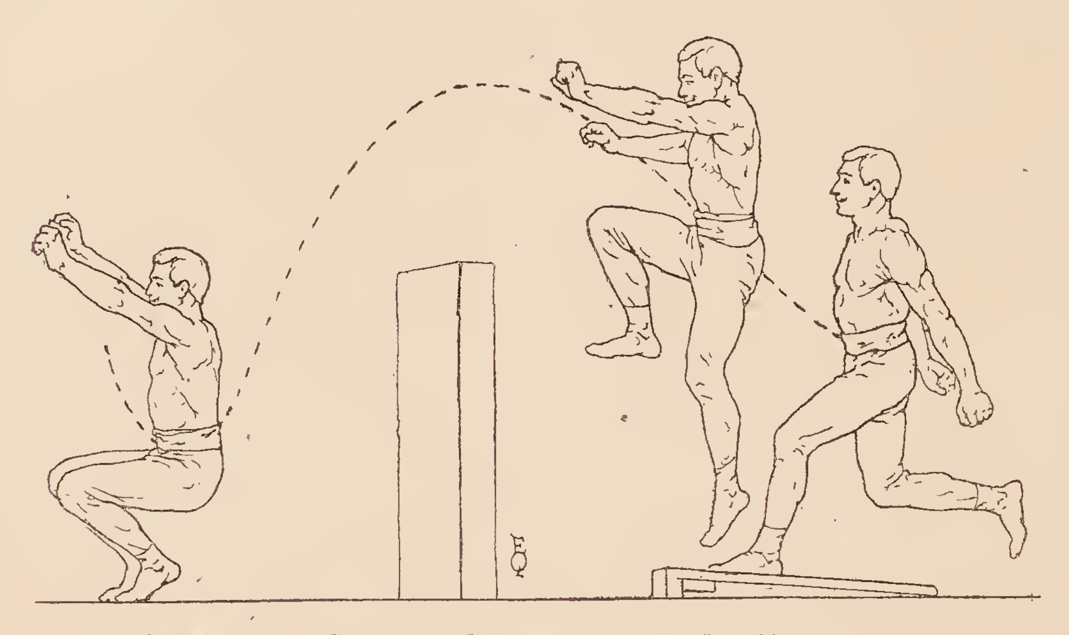


Fig. 452. — Saut en hauteur précédé d'une course.
Préparation, impulsion et chute. — Trajectoire d'un point de la ceinture.

de plus, horizontal. Si le sol est glissant, s'il est meuble, s'il est incliné comme le revers d'un talus ou d'un fossé il faudra modifier sa manière de tomber et être très prudent pour éviter la chute en arrière ou en avant. L'équilibre final devient alors extrêmement difficile.

L'équilibre ne peut être établi qu'à deux conditions :

1° Que la vitesse du corps soit complètement annulée par la résistance des membres inférieurs et que la destruction de la force vive se fasse dans les muscles ou dans le sol si ce dernier est meuble ; il faut pour cela que l'action des jambes ait lieu en sens inverse de la vitesse du corps, c'est-à-dire dans la direction de la tangente à la trajectoire du centre de gravité. Cette tangente coupe le sol de plus en plus en avant suivant la longueur du saut et l'aplatissement de la parabole. Les cuisses doivent donc se fléchir sur le tronc, d'autant plus que le saut est plus allongé, elles touchent donc par la pointe si le saut

est en profondeur ou en hauteur et par le talon si le saut est très allongé. Vouloir toucher par la pointe dans un saut en longueur, c'est raccourcir forcément les jambes et par conséquent diminuer la longueur du saut, c'est aussi se mettre dans l'impossibilité d'annuler la vitesse horizontale du corps. Ce dernier doit forcément pivoter autour des pieds et tomber face contre terre (fig. 446 *bis* et 449). Il n'y a pas de composante verticale, mais une composante horizontale de la vitesse à annuler; l'action des jambes doit s'exercer en sens inverse de celle-ci, *et par conséquent les jambes doivent être obliques et poser par le talon.*

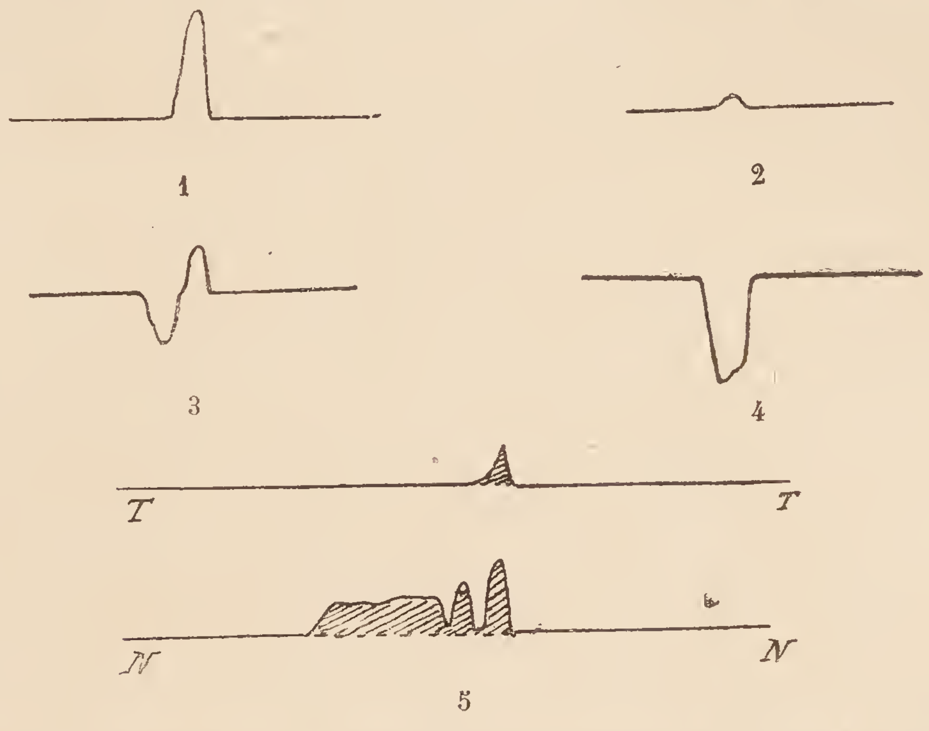


Fig. 453. — Forme de la pression tangentielle des pieds sur le sol[1].

1, dans le saut en longueur et 2, dans le saut en hauteur de pied ferme; 3, dans le saut en longueur et 4 dans le saut en hauteur avec élan; 5, tracés simultanés de la pression normale et tangentielle du pied dans l'appel d'un saut en longueur avec élan; — T, pression tangentielle; N, pression normale.

2° Quand la vitesse du corps est annulée, il faut encore demeurer d'aplomb pour se relever. La position des pieds, talons joints, pointes ouvertes, ce qui entraîne l'écartement des genoux, peut être avantageuse pour empêcher une chute latérale, mais comme à ce moment le corps n'a plus de vitesse en avant, la réunion des pieds n'a aucun inconvénient.

La base de sustentation est augmentée légèrement dans le premier cas et les pieds peuvent, surtout étant écartés, avoir une action latérale pour redresser le corps. C'est même par

1. Voir *L'École française*, pression tangentielle et amortissement de la chute des sauts.

cet effet que la stabilité est établie, bien plus que par la grandeur de base de sustentation qui est bien peu de chose.

En tous cas, il ne faut point gêner sa chute par la préoccupation d'exagérer l'écartement des genoux, ce qui est tout à fait anormal.

Le rôle des bras lancés vivement d'arrière en avant au moment de la chute est de déplacer le centre de gravité du corps en avant. Ceci a pour conséquence de ralentir la vitesse du corps de celle du déplacement du centre de gravité et par conséquent d'atténuer le choc et de faciliter l'équilibre final (fig. 450).

Il sera très difficile d'obtenir l'équilibre final si le sol est glissant.

Tremplins. — Les sols artificiels élastiques comme les tremplins, restituent le travail qu'ils ont d'abord absorbé, leur effet est donc d'autant plus intense qu'on leur communique une plus grande quantité de force vive par un violent appel provenant d'une course préalable ; le poids du sujet joue aussi son rôle dans ce cas.

Mais les tremplins sont des ressorts ayant leur période propre de vibration, si cette période est égale à la durée de l'impulsion du saut ou plus petite, ils rendront utilement le travail communiqué, sinon ils contrarieront singulièrement le mouvement en absorbant ce travail et en ne le restituant pas au moment voulu.

Degré de flexion des jambes. — *La longueur des segments des membres* et leur degré de flexion influent sur la durée de l'appui, par conséquent sur la vitesse initiale au départ, plus la flexion sera grande, plus la hauteur d'élévation le sera aussi. Dans les figures 422 et 423 on peut remarquer que les sauts les plus élevés correspondent à l'inflexion préalable la plus grande. La longueur du pied est très avantageuse à ce point de vue. Au moment de la chute, la flexion ne sera pas exagérée. elle sera en rapport avec la force vive acquise et à détruire.

La *direction de l'impulsion* dépend de l'inclinaison du tronc au départ. Cette inclinaison, qui est limitée elle-même par le frottement au contact du pied, doit être nulle pour un saut en hauteur et tendre vers 45° pour le saut en longueur de la plus grande étendue, étant donné un même coup de jarret ou une même vitesse initiale. L'inclinaison est intermédiaire

pour les sauts en hauteur et largeur, elle influe principalement sur la longueur du saut.

L'inclinaison de la direction de l'impulsion, ainsi que la vitesse initiale est augmentée par la composition de cette vitesse due au coup de jarret avec une autre vitesse horizontale antérieurement acquise par une course préalable.

Influence du poids du corps. — L'influence de *la grandeur de la masse à mouvoir*, c'est-à-dire du poids du corps, est des plus grandes ; tout ce qui n'est pas actif dans le corps, absorbant un travail inutilisé doit présenter le moindre développement relatif possible; un bon sauteur est celui qui, sous un faible poids, développe un coup de jarret relativement très intense; car, pour un même coup de jarret dans le saut vertical, les hauteurs auxquelles s'élèvent deux sauteurs sont inversement proportionnelles aux carrés des poids du corps.

Pour deux sujets de même poids, le rapport des hauteurs auxquelles ils s'élèvent est égal au rapport des carrés de l'impulsion définie plus haut (p. 326).

Comparaison de deux sauteurs. — La comparaison de deux sauteurs se fera donc en mesurant les hauteurs maximum auxquelles ils s'élèvent et leurs poids respectifs.

Le rapport des produits des poids par les racines carrées des hauteurs correspondantes, sera celui des impulsions ou coups de jarret.

Si, d'autre part, on avait une relation entre la force musculaire ou la force de détente et la longueur des segments ou la taille du sujet, on pourrait imaginer un sauteur type, pris comme unité, d'une taille et d'un poids déterminés qui développerait une impulsion correspondante maximum, reconnue pratiquement possible en sachant utiliser tous ses moyens; on pourrait lui comparer des sujets de tailles différentes en tenant compte de leur organisation.

Il y a, en effet, deux points de vue auxquels on peut considérer la valeur d'un sauteur.

Le point de vue absolu ou pratique où l'on envisage les longueur et hauteur du saut sans s'occuper du poids du corps, et le point de vue théorique où l'on considère les hauteur et longueur du saut en tenant compte de la masse à mouvoir.

Ces deux points de vue peuvent mener à une estimation toute différente d'un sujet. En effet, un sauteur qui, par la distance franchie, l'emporterait sur d'autres dans la première méthode de comparaison serait, quelquefois, mal classé d'après a seconde s'il était très léger; et inversement, un sauteur lourd franchissant une courte distance pourrait l'emporter si son effort d'impulsion était relativement supérieur à celui du premier.

Nous ne nous prononçons pas sur le choix de ces deux méthodes de classement, pourtant c'est évidemment la seconde qu'on devra appliquer pour un même individu afin de le comparer à lui-même à différentes époques de sa croissance. Elle revient, pour des sauteurs différents, à égaliser les poids en leur ajoutant des masses additionnelles.

M. Chabry[1] fait remarquer que deux sauteurs de poids différents mais géométriquement semblables et formés des mêmes tissus jouissant des mêmes propriétés, s'élèveront à la même hauteur quelles que soient les différences de poids et de taille puisque le travail moteur maximum dont sont susceptibles les muscles chez chacun d'eux est proportionnel au poids des individus.

L'auteur combat le préjugé qui fait considérer la puce et le criquet comme doués relativement d'une grande force musculaire. Il fait remarquer que les animaux ne sautent si haut que parce qu'ils sont très légers, mais leurs muscles ne développent pas à poids égal plus de travail que ceux des mammifères ordinaires.

L'état de vigueur ou de faiblesse du sujet agit sur l'impulsion en faisant varier, soit l'intensité, soit la durée de la contraction. C'est ici que l'excitation nerveuse a sa plus grande part et fait varier les résultats d'après les différences ou dispositions individuelles. On sait combien diffèrent la brieveté ou la lenteur de la contraction des muscles, suivant la température, l'activité de la circulation, l'état de repos ou de fatigue, la constitution du sujet. Nous croyons que c'est la vivacité dans la détente qui est une des principales qualités du coup de jarret.

1. L. Chabry, Mécanisme du saut, *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1883.

Résumé des considérations pratiques relatives a la marche, a la course et au saut. — La *chaussure sera sans talon*, la semelle large et assez épaisse permettant au pied de s'étaler tout à son aise lors de son déroulement sur le sol.

La *marche en plaine* se fera en développant le moins de force musculaire possible, l'allure de l'homme fatigué, du paysan; le corps penché en avant, le pas régulier et d'une longueur en rapport avec la taille, sera celle que l'on pourra soutenir le plus longtemps avec une vitesse de six kilomètres à l'heure, non chargé.

La marche s'accélérera en allongeant le pas et en observant en même temps une cadence plus vive, car nous avons vu que la cadence et la longueur du pas sont intimement liées l'une à l'autre.

On cherche à faire l'éducation d'un marcheur par des exercices de marche cadencée qui consistent à étendre totalement la jambe et le pied au moment du lever, le pied posant à terre et par toute la surface plantaire à la fois, le corps étant légèrement penché en avant. Cet exercice souvent répété donnerait au pas une grande longueur moyenne qui se maintient pendant de longues étapes. C'est ainsi que dans une marche des élèves de l'École normale de gymnastique de Joinville-le-Pont, élèves ayant cinq mois d'entraînement gymnastique, la même longueur de pas (60 pas pour 100 mètres) a été soutenue en moyenne, pendant que varient la durée du pas et la vitesse de progression sous l'influence de la fatigue. Cette éducation est fort discutable.

Dans la *marche ascendante* le corps sera penché fortement en avant et inversement dans la marche descendante.

Dans la *course de résistance* on conservera une cadence constante et modérée, environ 88 pas à la minute, ce qui pourra permettre, au maximum, une vitesse de 13 kilomètres à l'heure.

On ne devra soutenir la *course de vélocité* que durant une longueur de 100 à 150 mètres au plus pour les jeunes gens moyens.

On partira le corps penché en avant et on allongera le pas progressivement jusqu'au maximum. La vitesse pourra ainsi acquérir pendant dix secondes, jusqu'à la valeur de 11 mètres 25 par seconde

La condition essentielle pour soutenir la marche et la course est de dépenser le moins de force musculaire possible et d'éviter l'essoufflement en réglant les mouvements respiratoires avec le rythme du pas ; on respirera, si l'on peut, par le nez.

Le saut est différent suivant que l'on est en repos ou en mouvement au moment de l'impulsion.

Si l'on saute de pied ferme, en hauteur, au-dessus d'un obstacle, on se placera le plus près possible de cet obstacle (fig. 454)

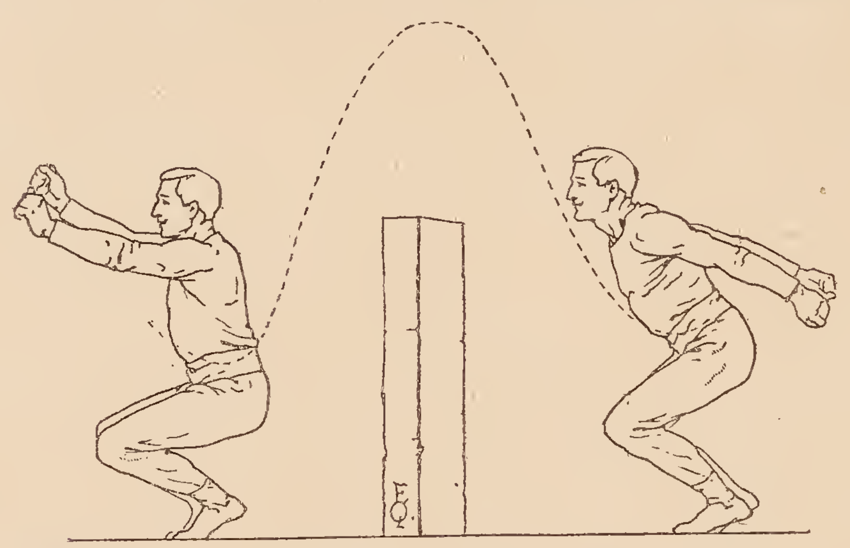


Fig. 454. — Saut en hauteur de pied ferme.

le corps très légèrement incliné, les jambes réunies, fortement fléchies dans tous leurs segments et les bras abaissés pour la préparation. Au temps de l'impulsion, les bras s'élèveront vivement et s'arrêteront brusquement environ à l'horizontale, les jambes resteront unies et, si l'on peut, allongées et fléchies sur le tronc afin que la distance comprise entre le point le plus bas du corps et le sol pendant la suspension soit maximum; L'obstacle franchi, on étendra vigoureusement le tronc afin d'éviter le frottement de l'obstacle avec les fessiers; enfin au moment de la chute les membres inférieurs en contact avec le sol par la pointe des pieds se fléchiront pendant que les bras s'élèveront pour atténuer le choc et assurer l'équilibre.

Si l'obstacle est très large et que l'on désire y prendre appui, (saut en hauteur) il faudra fléchir fortement les jambes, être suffisamment distant de l'obstacle afin de permettre cette flexion ainsi que le mouvement des bras, prendre appui au moment où la vitesse s'est annulée et se relever immédiatement (fig. 455).

Ici la chute n'existe pas; dans le saut en profondeur au contraire (fig. 456) c'est l'impulsion qui est presque nulle, elle doit être suffisante pourtant pour lancer horizontalement le corps loin de l'obstacle sur lequel on repose et éviter une chute tout à fait verticale. Cette chute est ici fort difficile et fort dangereuse. Les entorses, les fractures, les déchirures de muscles et de tendons, les commotions cérébrales, les hernies crurales en

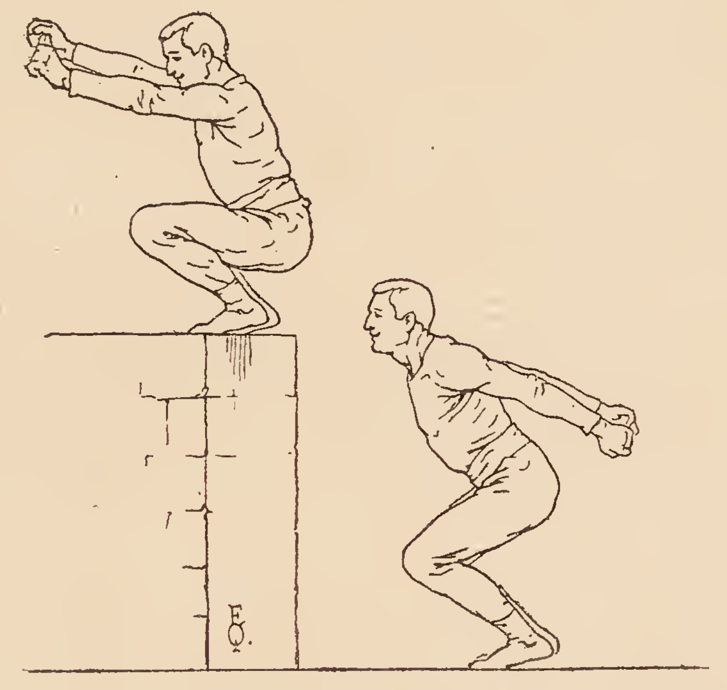


Fig. 455. — Saut en hauteur de pied ferme.
Attitudes de départ et d'arrivée.

peuvent être la conséquence (fig. 457). Nous conseillons dans la chute, terminaison de tous les sauts, d'avoir les talons réunis, les genoux et pointes des pieds à l'écartement ordinaire de la station ou de la marche. Cette attitude que doivent avoir les extrémités pendant la suspension est celle qui donne le plus de solidité pour soutenir le choc.

Le saut en longueur de pied ferme (fig. 443) tire ses qualités de l'intensité du coup de jarret et du mouvement de projection des bras, mais aussi de l'inclinaison du corps en avant au moment de l'impulsion. Il faut, pour ainsi dire, donner son coup de jarret pendant une chute en avant. Sans cette condition, le saut sera toujours trop élevé et raccourci.

Les jambes seront étendues et les cuisses fléchies sur le tronc, les pieds toucheront le sol par le talon au moment de la chute, Ce mode d'appui n'a aucun inconvénient, car la vitesse à annuler

est dirigée plutôt horizontalement que verticalement, les jambes sont aussi très obliques et rasent le sol ; il a au contraire avantage à utiliser toute la vitesse acquise et de reculer au maximum le point de chute, c'est-à-dire la longueur du saut. L'équilibre final sera rétabli par un mouvement convenable des bras, généralement peu utile, si le saut est bien exécuté ; la vitesse dont le corps est animé au moment de la chute, suffira

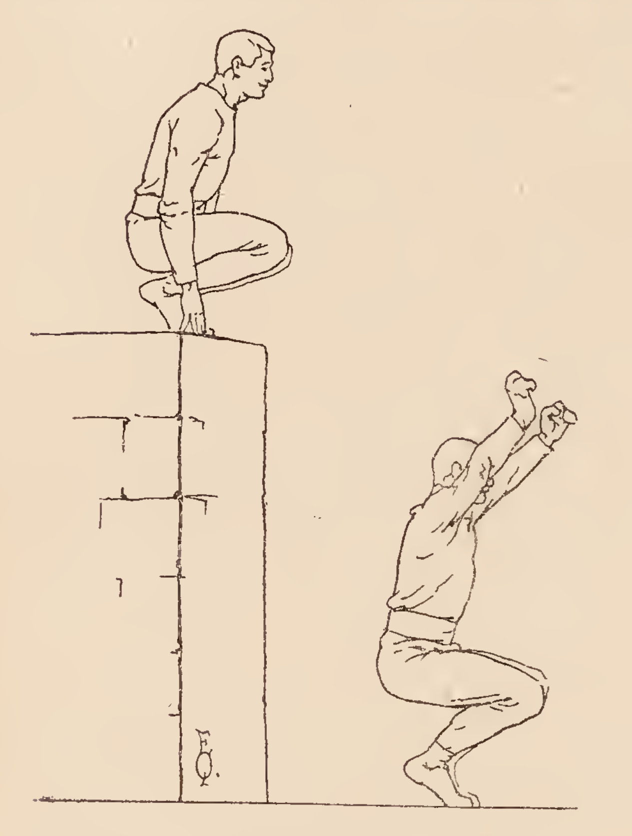


Fig. 456. — Saut en profondeur. Face en avant.

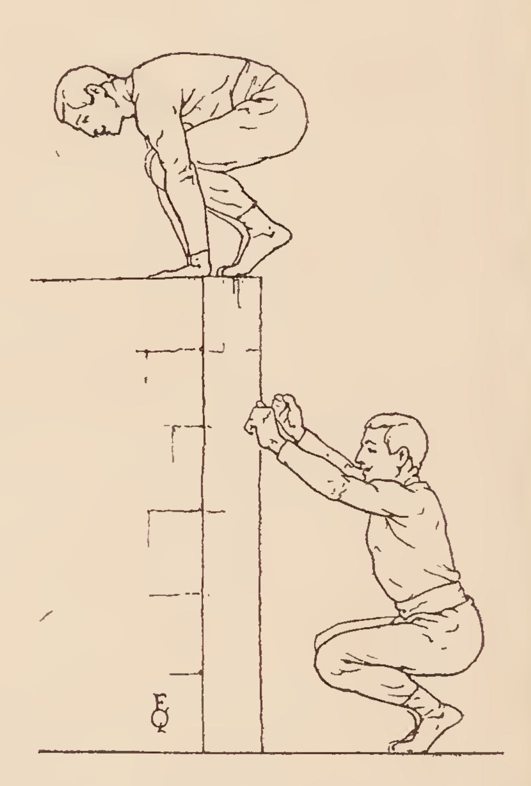


Fig. 457. — Saut en profondeur dans le cas de grandes hauteurs.

pour amener le tronc au-dessus du point d'appui qui, vu l'allongement des jambes, se trouve verticalement au-devant du centre de gravité. Cependant, dans le cas où des frottements suffisants ne seraient pas développés au contact du talon, une chute sur les ischions serait à redouter.

Dans les sauts précédés d'une course, celle-ci doit aller en s'accélérant au moment de l'appel qui se fait alors généralement d'un seul pied, la longueur des pas diminue aussi (fig. 447) ; la vitesse horizontale préalablement acquise se composant avec celle qui est due au coup de jarret, a pour résultante une vitesse initiale, toujours plus inclinée que cette dernière. On en conclut que le saut précédé d'une course augmente bien plus la longueur que la hauteur du saut. L'inclinaison de la surface

et la nature du sol à l'appel et à la chute modifieront ces résultats.

Il sera avantageux de s'exercer à prendre cet appel indistinctement de l'un ou l'autre pied; dans tous les cas, les jambes



Fig. 458. — Préparation à l'impulsion du saut.

seront réunies pendant la suspension et la chute exécutée comme dans le saut de pied ferme.

L'appel des deux pieds ne s'accorde pas avec une course préa-



Fig. 459. — Préparation à la chute des sauts.

lable bien vive; il demande un certain temps et s'exécute surtout dans les sauts avec appui des mains.

La chute finale d'un saut précédé d'une course est difficile, il sera bon de s'y exercer progressivement en y recherchant toujours les qualités énoncées plus haut. Elle différera dans les cas où l'on voudrait après le saut continuer la course, mais cependant, il faudra toujours observer la réunion des talons au moment du choc et marquer un temps d'arrêt. La chute d'un saut doit trouver dans les muscles extenseurs du membre inférieur l'amortissement nécessaire et peut alors se faire sur un sol dur pourvu qu'il ne soit pas glissant. Mais pour les sauts en profondeur il est indispensable de tomber sur un sol meuble composé de tan ou de sable. Dans une salle fermée on emploiera les

matelas d'aloès et de crin végétal pour éviter la poussière si funeste aux organes respiratoires.

Exercices préparatoires au saut. — Avant de sauter, on



Fig. 460. — Sautillements les jambes écartées, les cuisses fléchies et saut cambré.

s'exercera à fléchir les membres inférieurs (fig. 458), balancer les bras en arrière du corps en s'accroupissant, puis en se

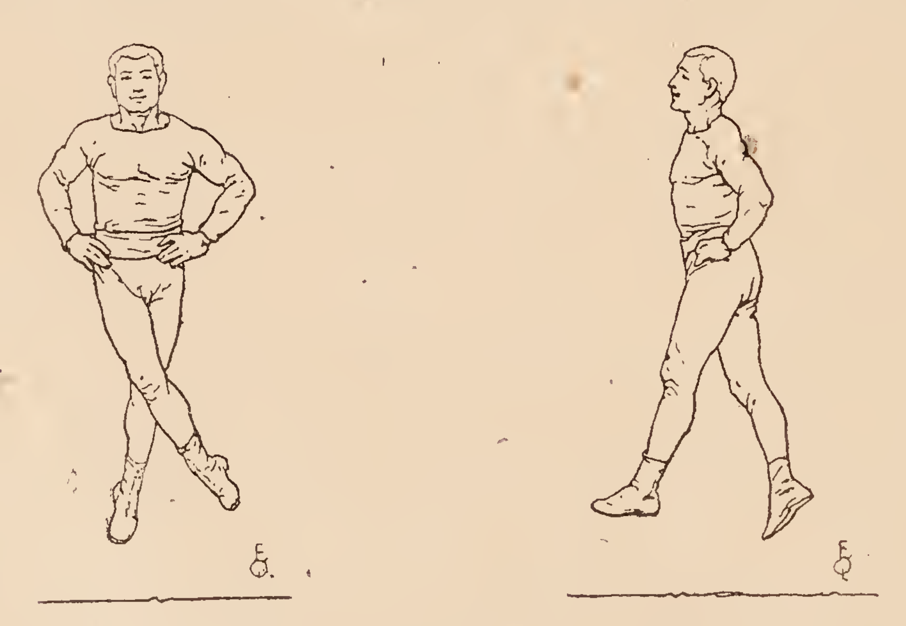


Fig. 461. — Sautillements avec croisement et avec écartement des jambes.

redressant immédiatement en portant les bras en avant (fig. 459), comme dans l'impulsion du saut, ou en s'accroupissant en levant les bras comme dans la chute. On fera aussi des sautillements sur place pour habituer le corps à prendre diverses attitudes pendant la suspension, les jambes écartées latéralement ou en

arrière, les jambes croisées, fléchies en arrière ou fléchies en avant (fig. 460 et 461). On s'exercera aussi à une espèce de danse russe accroupie, où l'on étend alternativement la jambe en avant (fig. 462) et de côté.

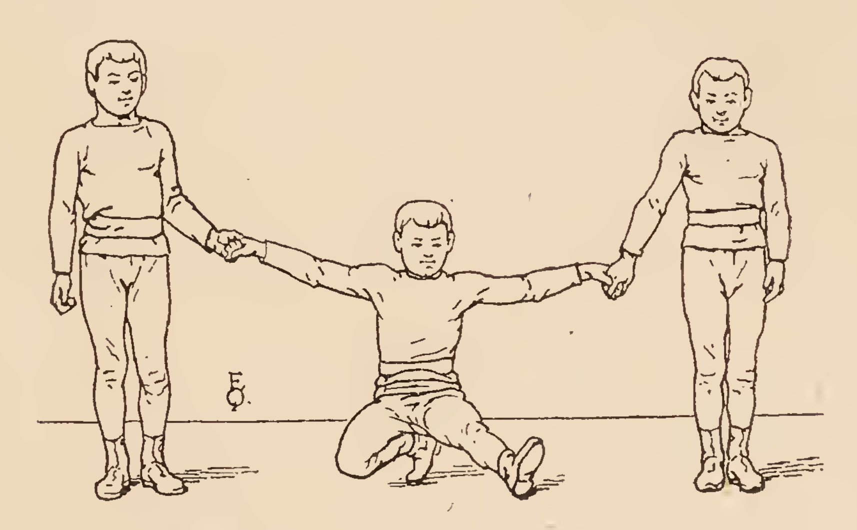


Fig. 462. — Danse accroupie avec l'aide de deux camarades.

Sauts divers. — Toutes les variétés de sauts obéissent aux principes généraux que nous avons donnés sur la préparation,

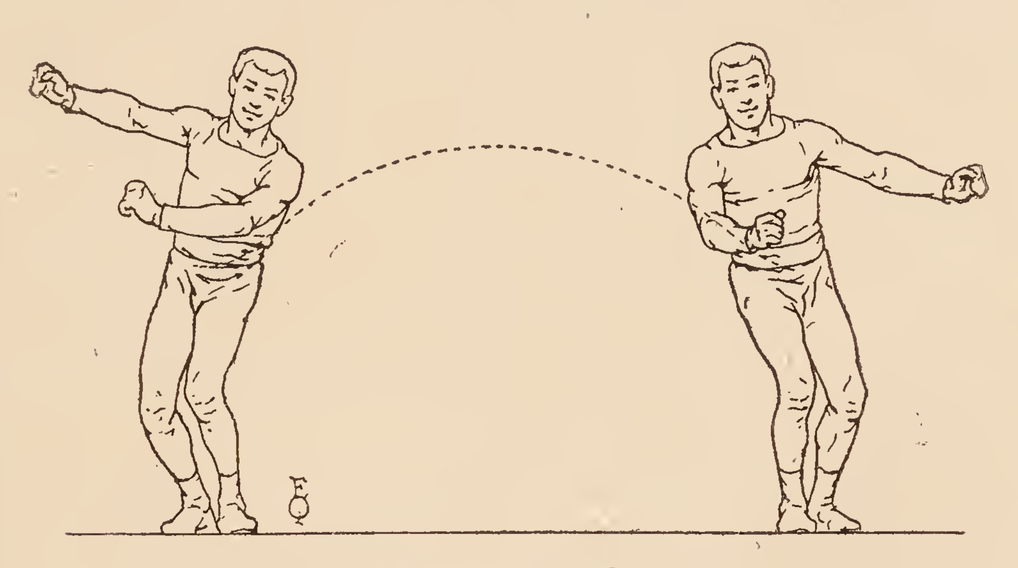


Fig. 463. — Saut de côté.

l'impulsion, la suspension et la chute. Ainsi dans le saut en arrière ou de côté, l'inclinaison du tronc et le mouvement des bras doivent être dirigés dans la direction du saut (fig. 463).

Dans les sauts successifs, les jambes fléchies pour la chute doivent immédiatement s'étendre avec une nouvelle élévation des bras (fig. 464).

Dans les progressions par sauts successifs sur un pied qu'on nomme progressions à *cloche-pied*, les bras aident peu, mais le

tronc est fortement incliné en avant. Ces progressions très pénibles ne s'exécutent que comme exercices gymnastiques.

Sauts avec appui des mains. — Dans les sauts de barrière et

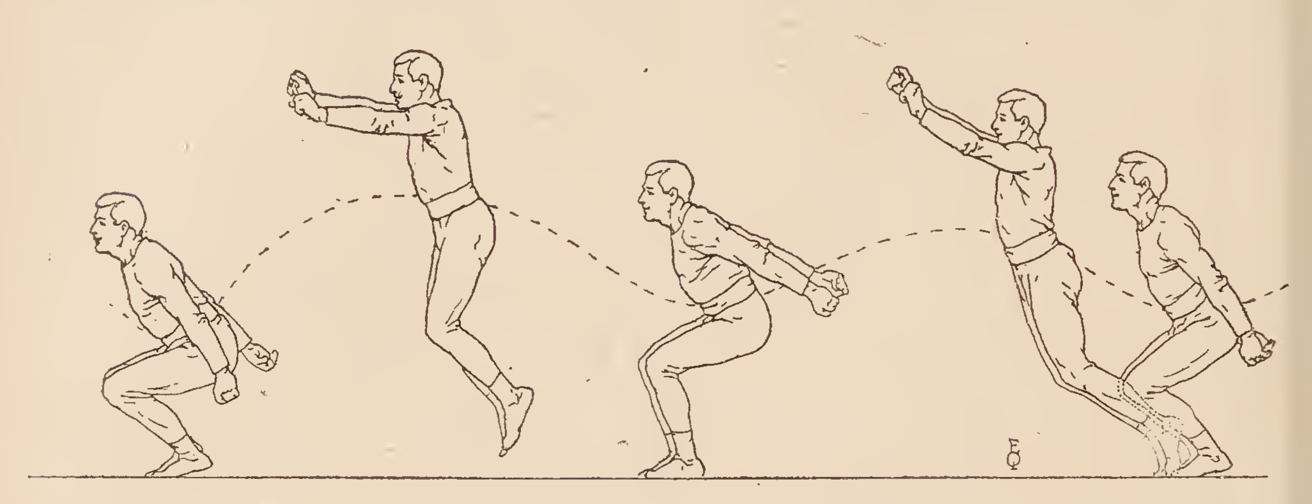


Fig. 464. — Sauts successifs.

au cheval de bois avec appui des mains (fig. 466), la suspension proprement dite est de beaucoup réduite : tantôt il y a appui simultané des pieds sur le sol et des mains sur l'obstacle, et l'adduction des bras ajoute son effet à l'extension des jambes (fig. 466 et 467) tantôt l'appui sur les mains est effectué après le saut, ce qui permet une obliquité extrême du corps pendant la suspension et une grande longueur du saut. Il y a alors, en réalité, deux chutes, l'une sur les poignets, l'autre finale sur les pieds. Dans ces sauts, les jambes passent au-dessus de l'obstacle, fléchies entre les bras ou allongées latéralement pendant que le corps est à l'appui sur un seul bras toujours allongé ; le poids du corps doit toujours être porté par le bras à l'appui, ce qui exige que l'on ne s'éloigne pas de cet appui au moment du saut (fig. 468 et 469).



Fig. 465. — Saut à cloche-pied.

On peut ainsi se suspendre d'une main et s'appuyer de l'autre, passer aussi entre deux barres parallèles situées dans un même plan, tous ces sauts rentrent dans la série des exercices gymnastiques (fig. 470).

Dans le *saut à la perche*, la hauteur d'élévation du corps est augmentée par une vigoureuse traction des bras effectuée pen-

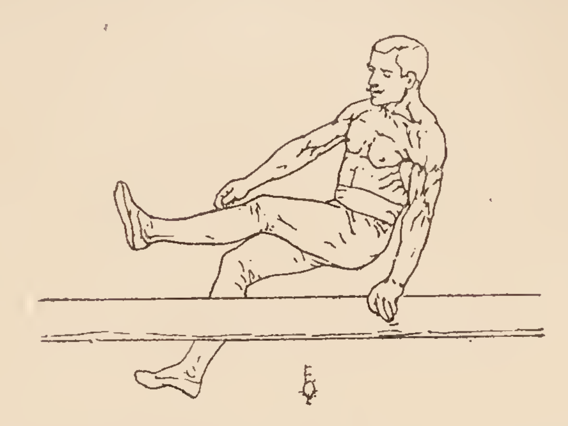


Fig. 466. — Saut de barrière de côté en passant alternativement les jambes.

dant la suspension et pendant que la perche a point d'appui sur

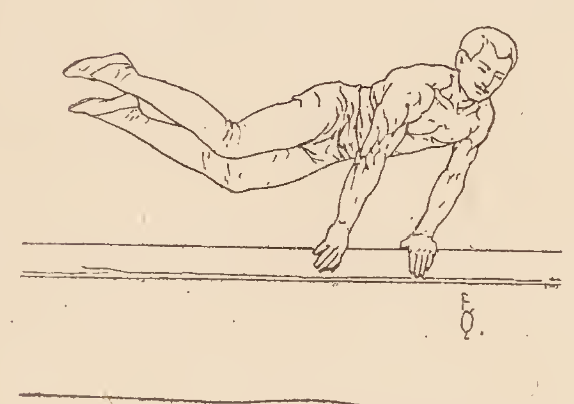


Fig. 467. — Saut de barrière de côté les jambes réunies.

le sol. Théoriquement, ce saut revient à prolonger l'appui du

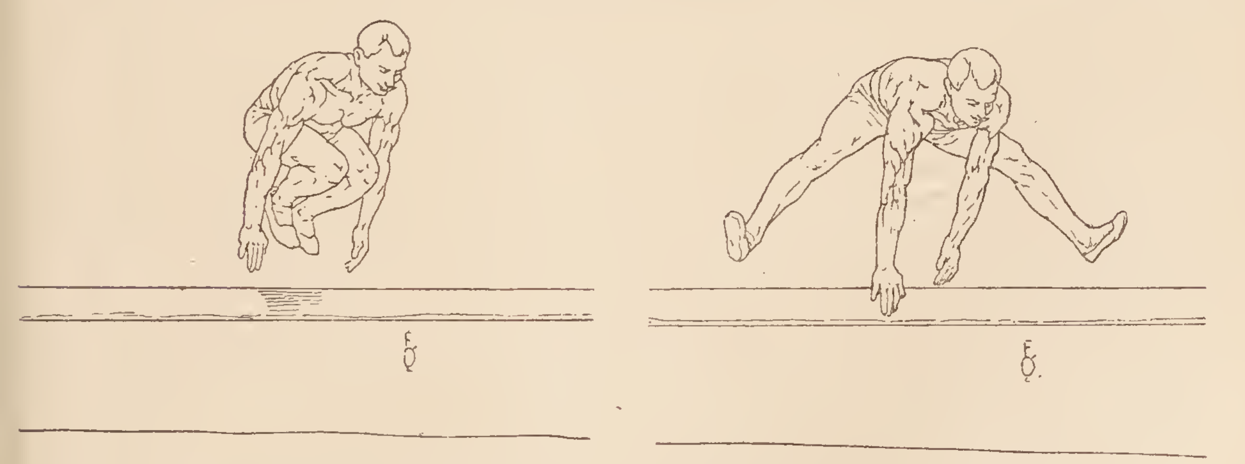


Fig. 468. — Sauts de barrière les jambes entre les bras et les jambes écartées.

pied par l'appui de la perche et l'effort des extenseurs par celui des fléchisseurs et adducteurs des bras. Le corps s'attire donc

vers l'extrémité de la perche, tandis que celle-ci oscille autour de son point d'appui. Il résulte de toutes ces circonstances une plus grande hauteur et longueur de saut (fig. 471, 472 et 473)

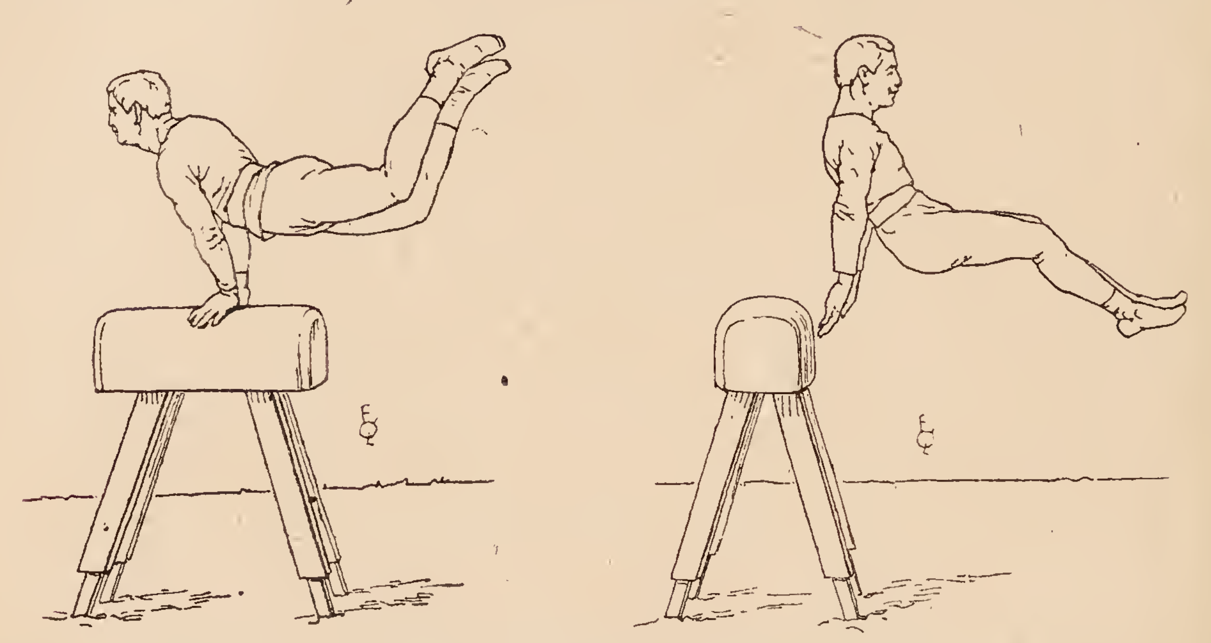


Fig. 469. — Sauts avec appui des mains sur le mouton.

Passe-rivière. — Il est une manière de franchir une grande distance, c'est de se suspendre à une corde oscillante et de la lâcher à bout de course. Cette disposition a reçu le nom de

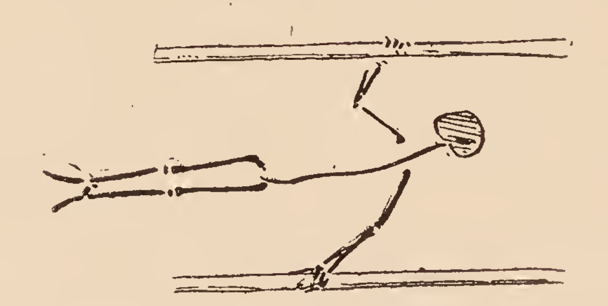


Fig. 470. — Saut entre deux barres horizontales.

passe-rivière et rentre un peu dans la locomotion avec les mains (fig. 474).

Sauts périlleux. — Comme nous l'avons indiqué à propos de l'impulsion du saut, la masse du corps est soumise à une force de projection qui le détache de terre et à un couple qui lui donne un mouvement de rotation autour de son centre de gravité pendant la suspension.

Il est toujours très difficile d'empêcher cette rotation de se produire ou de s'en rendre maître. Dans les sauts dits périlleux

ce couple prend une importance très grande et la vitesse de rotation se trouve réglée par le changement d'attitude.



Fig. 471. — Saut en profondeur à l'aide d'une perche.

Chaque point du corps décrit son orbite autour du centre de gravité comme un satellite autour d'une planète et le mouve-

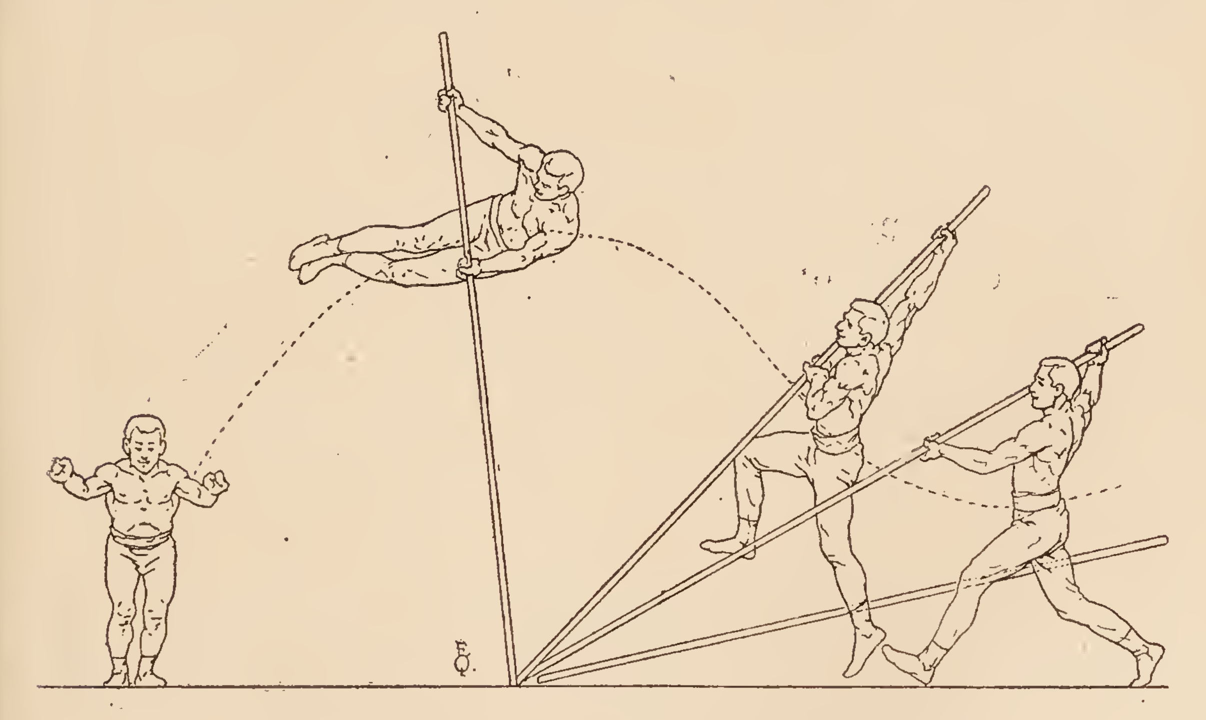


Fig. 472. — Saut en hauteur à la perche.

ment suit les lois de Képler. Il faut que les aires décrites par les rayons vecteurs dans des temps égaux soient égales. Si l'on avait au début une vitesse lente de rotation en partant le corps

allongé (fig. 475) ; le fait de se ramasser raccourcit les distances d'un point de la masse du corps au centre de gravité et accélère ainsi la vitesse de rotation du corps (fig. 476).

Nous n'avons pas à étudier ici plus longuement ces genres de locomotion qui n'offrent aucun intérêt pratique.

Progressions diverses. Progression sur des pistes étroites et sinueuses. — Les progressions précédentes, marche, course et saut, présentent de grandes difficultés si l'on réduit l'espace

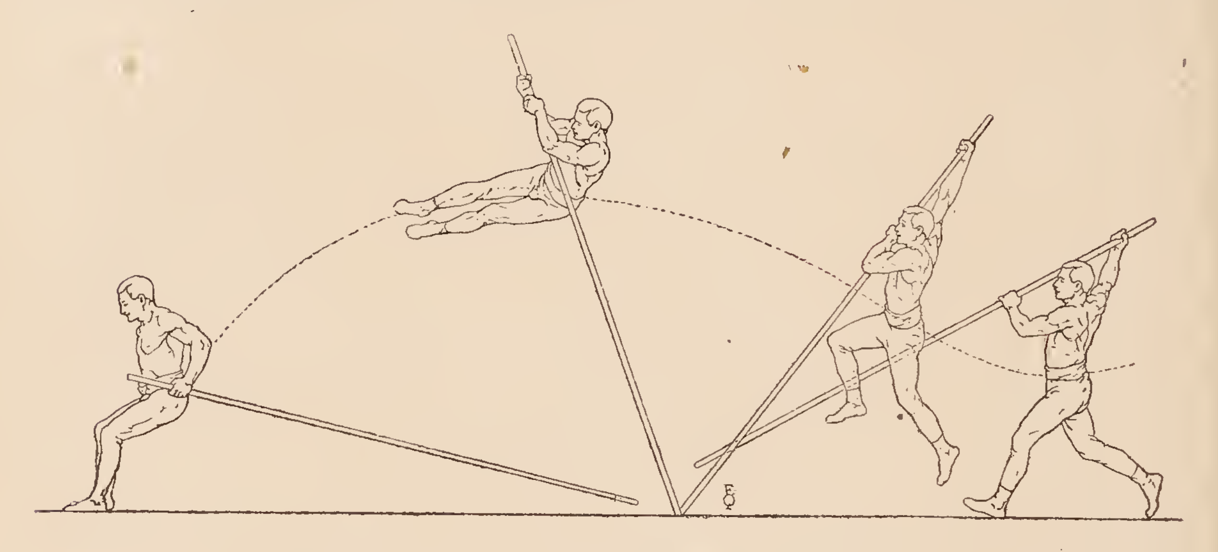


Fig. 473. — Saut en longueur à la perche.

sur lequel elles doivent s'effectuer. En laissant de côté le trouble dans la coordination provenant du vertige lorsque la progression a lieu sur un lieu élevé, la réduction latérale dans la surface d'appui, comme cela a lieu dans la marche sur une poutre ou sur des piquets, oblige les pieds à se mettre dans des positions relatives qui ne sont pas naturelles, nécessite pour rétablir l'équilibre à chaque instant, des contractions musculaires difficiles à régler et demande une éducation nouvelle et longue.

Inclinaison du corps dans les courbes. — Si le chemin à parcourir est une ligne sinueuse, une circonférence de petit rayon, le corps est incliné vers le centre d'une quantité en rapport avec la vitesse de progression. A chaque instant, il tend à continuer son mouvement suivant la tangente à la courbe; les deux actions qui le ramènent incessamment vers le centre, sont : celle des jambes qui, par une légère adduction et abduc-

tion respectives, ramènent les pieds sur la ligne à suivre et celle de la pesanteur du corps qui tend à faire une chute vers le centre du mouvement.

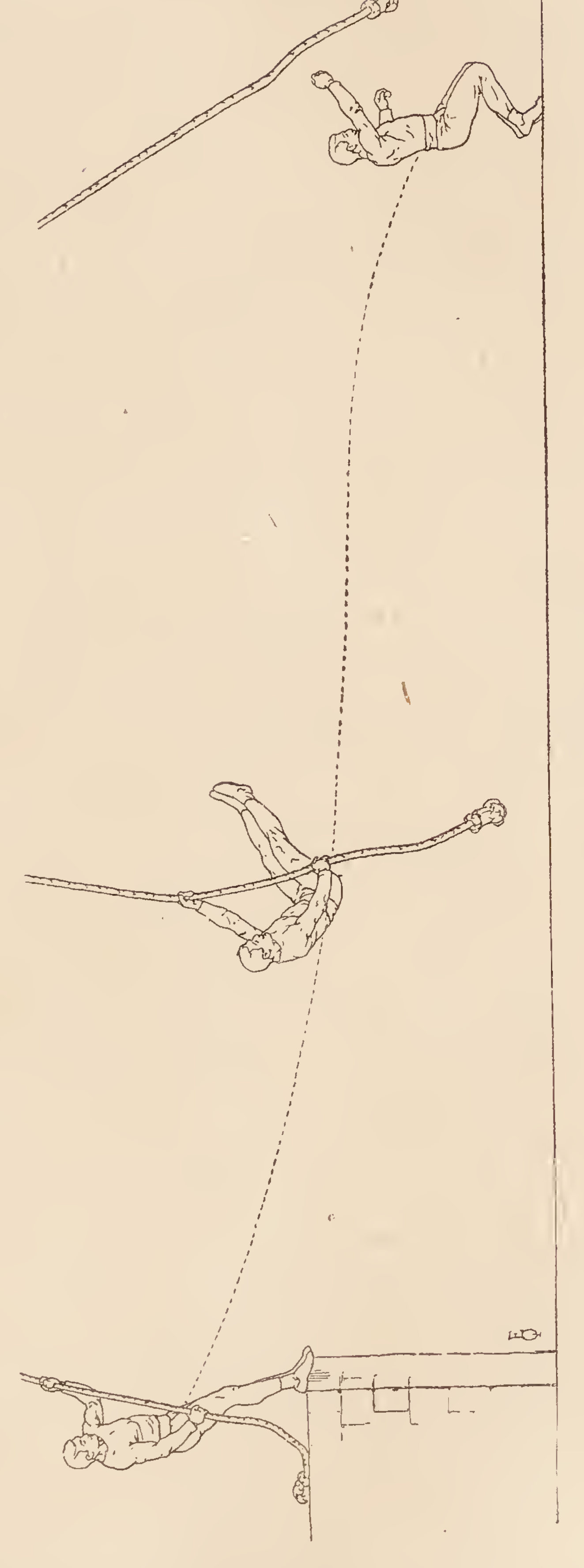


Fig. 474. — Passe-rivière.
Les trois attitudes principales du départ, de l'oscillation et de la chute.

Planche oscillante. — Il y a une difficulté de plus à marcher sur une planche élastique dont les oscillations interfèrent avec les réactions de la marche. Il faut éviter que la période d'oscillation propre à la planche coïncide avec le pas sinon les mouvements de la planche s'amplifieraient au point de devenir dangereux.

Cela arrive sur les quais d'abordage où la planche est quelquefois très inclinée (fig. 477).

Les oscillations provenant du rythme de la marche se font surtout sentir dans une troupe en marche. Des ponts suspendus se sont rompus pendant le passage d'un bataillon marchant au pas. Aussi est-il de règle d'interrompre la cadence et de marcher à volonté chaque fois qu'un corps d'armée doit franchir un pont élastique.

Mouvements gymnastiques en progressant. — Marches gymnastiques. — Tous les mouvements de plancher peuvent être exé-

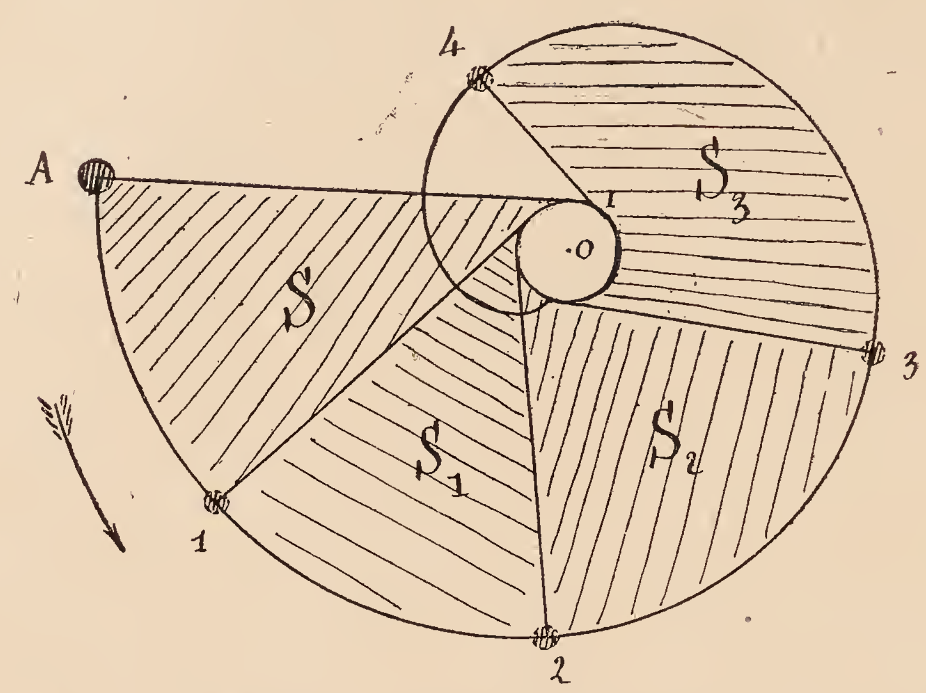


Fig. 475. — Loi de la vitesse d'une masse attachée à un cordon AI s'enroulant sur un cylindre O.

La trajectoire est une spirale développante ; — les positions 1, 2, 3, 4 de la masse au bout de temps égaux sont telles que les aires S, S_1, S_2, S_3 décrites par les rayons vecteurs sont égales.

cutés en progressant. Le pas convenable à ces mouvements est



Fig. 476. — Sauteur tournant autour de son centre de gravité G pendant la suspension.

La rotation devient plus rapide par le changement d'attitude. La surface décrite par un point A de la jambe reste constante pendant le même temps. Les secteurs ABG et A'B'G étant égaux, les arcs correspondants AB et A'B' sont différents ; ils augmentent quand les rayons diminuent.

un pas cadencé, lent, de grande longueur et dans lequel la jambe en avant reste fléchie, perpendiculaire au sol, tandis que la jambe en arrière est toujours allongée, le pied perpendiculaire à la direction de la progression a peu près comme

dans la fente de l'escrime. Les mouvements des bras se rythment avec ceux des jambes, le corps prend ainsi des attitudes élégantes et viriles ; il acquiert une rare stabilité surtout

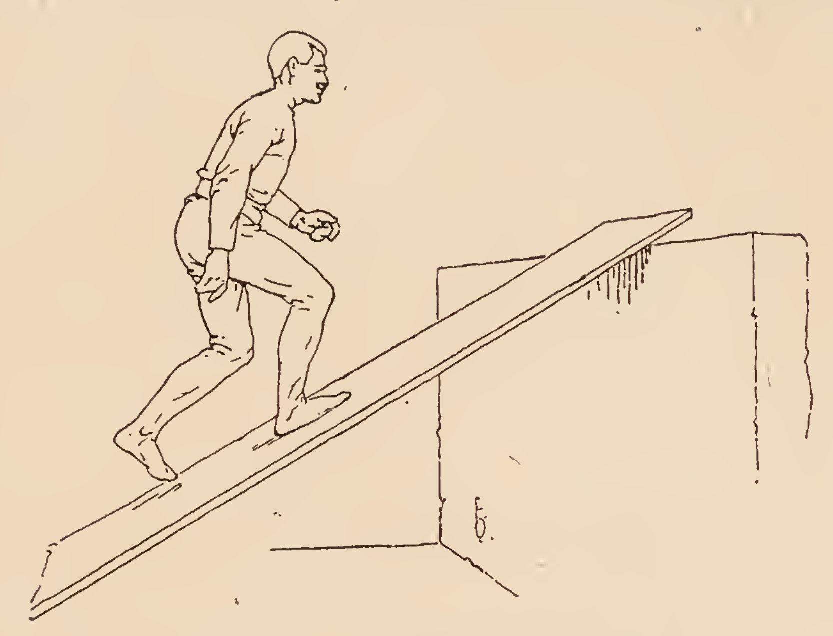


Fig. 477. — Planche d'assaut.

si l'on joint à tous les mouvements de la leçon de plancher complète ceux de la leçon dite de la *boxe française*, dans

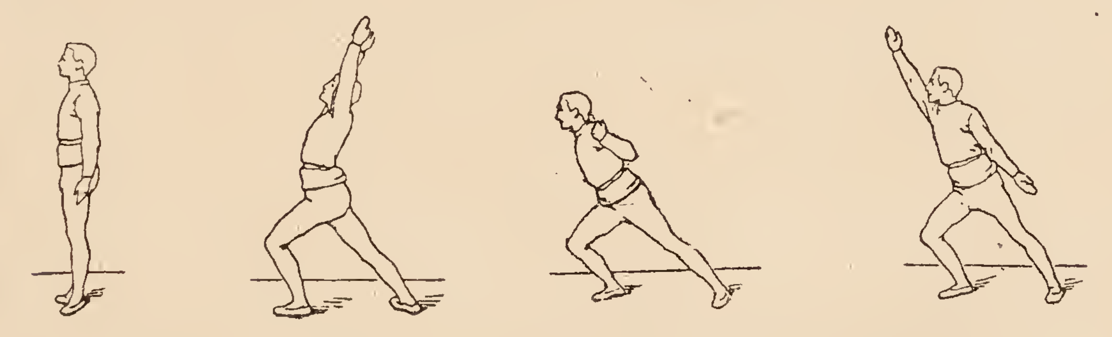


Fig. 478. — Mouvements gymnastiques en progressant.

laquelle on demande, aux extrémités inférieures, une souplesse et une indépendance égales à celles des bras. Ces mouvements sont généraux, ils sont donc bons à exécuter en plein air par les temps froids. De plus, attrayants, naturels et difficiles ils doivent commencer toute séance de gymnastique, sérieusement et rationnellement pratiquée (fig. 478).

CHAPITRE IV

LOCOMOTION AVEC LES BRAS

L'homme est un bipède, sa conformation anatomique ne laisse aucun doute à ce sujet. Le membre inférieur est un organe adapté au soutien du poids du corps et à la locomotion, le membre supérieur est un organe de préhension construit pour l'amplitude et la délicatesse des mouvements. L'enfant n'est pas tout à fait ainsi, il n'a pas de courbure lombaire, il marche volontiers à quatre pattes, il rappelle dans ses allures la locomotion des animaux ; il rampe mais ne saurait grimper. Si l'homme est bipède, peut-il devenir grimpeur et y a-t-il quelqu'utilité à cela ?

Utilité du grimper. — Il est des circonstances dans la vie où la fuite n'est pas possible par la course ou par le saut. On est acculé à un mur, contre un arbre ; on se trouve dans une maison inondée ou incendiée, il n'y a d'autre salut que dans la direction verticale, il y a donc utilité à savoir grimper.

Tous sont naturellement aptes à grimper à l'aide des bras et des jambes et doivent s'y accoutumer de bonne heure. On peut aussi dans une certaine mesure s'habituer à grimper avec les bras seulement, mais ce genre de locomotion sera toujours pénible, difficile et de peu de durée.

Les bras sont trop faibles, l'épaule trop mobile ; il faut une longue préparation et un entraînement constant pour donner aux masses musculaires de l'épaule une importance suffisante à cette nouvelle fonction. D'ailleurs la supériorité dans ce genre de locomotion reviendra toujours aux sujets disproportionnés, à bras courts et trapus, à jambes grêles et dont le poids du

corps sera petit relativement à la force musculaire des bras[1].

On en trouve la preuve dans l'abandon des exercices de grimper vers quarante ou cinquante ans. A cet âge il devient très pénible de se soulever à la force des bras et cependant la force musculaire n'a pas diminué, au contraire ; mais la masse du corps a augmenté.



Fig. 479. — Type de grimpeur (*Gorille*).

On n'est habile grimpeur avec les mains que si l'on a une structure spéciale. Est-elle bonne, est-il nécessaire de se donner tant de mal pour l'acquérir ? il est facile de répondre à ces questions.

Conformation d'un grimpeur. — La conformation d'un parfait grimpeur est d'être courbé pour mieux étreindre, d'avoir les mains fortes et calleuses, les muscles pectoraux démesurément développés, les épaules rentrées, les fessiers et jambes

1. G. Demeny, *Cours théoriques sur l'éducation physique*, 1880-1886.

grêles. Toutes les masses musculaires fléchissantes doivent prendre chez lui une importance inusitée au détriment des extenseurs; ceci est justement contraire à la bonne attitude bipède.



Fig. 480. — Squelette de grimpeur (*Gorille*).

On voit les omoplates attirées par les pectoraux et l'absence de courbure lombaire, la marche bipède ne se faisant que par exception.

Le gorille ou l'orang avec lequel, je crois, aucun gymnaste grimpeur ne se risquerait à concourir ne sont pas plus faits pour marcher que l'homme pour grimper; cependant ils marchent debout et l'homme grimpe, mais c'est une interversion des rôles gênante pour tous deux et d'ailleurs exceptionnelle (fig. 479 et 480).

Le grimpeur et le bipède sont deux types opposés qui se

contrarient ; il est bien difficile pour cela d'être à la fois l'un et l'autre. Le perfectionnement physique ne consiste pas à changer sa nature et son type originel; nous n'avons pas de temps à perdre, c'est un pur gaspillage d'énergie et de temps que de chercher à devenir un grimpeur spécial.

La spécialisation a la locomotion par les mains est une aberration. — Presque toujours nous nous servons des bras pour nous défendre et des jambes pour nous transporter. S'il arrive une fois par hasard que les bras servent à la locomotion, nous pouvons toujours nous aider des pieds, jamais nous n'aurons à exécuter de ces tours élégants qui nécessitent des appareils spéciaux, des instruments de salon ou de cirque, bien polis et bien tournés. La nature n'est pas si élégante ; elle nous offre comme outils de sauvetage une poutre, une perche, une corde ou un entablement de fenêtre. L'éducation physique basée sur la locomotion par les mains serait une aberration. S'il y a des gens assez simples pour croire à l'indispensable nécessité de ces pratiques et leur attribuer une vertu inusitée, d'autres, plus raisonnables comprendront la part qu'il faut faire à ces exercices artificiels dans une éducation sérieuse et verront dans leur difficulté même non pas une qualité mais simplement un manque d'adaptation de notre conformation anatomique.

Cependant, lorsqu'on sera développé normalement, quand on aura acquis la force voulue, que les muscles servant à rectifier la station droite seront assez vigoureux pour supporter l'antagonisme des muscles servant au grimper et pour empêcher toute déformation de se produire, alors on pourra, on devra même s'exercer aux différents sauvetages, on étendra ainsi ses moyens d'action ; il faut savoir grimper comme il faut savoir nager et sauter, cela ne fait aucun doute, le défaut est de le faire spécialement et exclusivement.

Les exercices de grimper ne peuvent constituer qu'une partie d'un système d'éducation physique, une des applications de la force à la locomotion.

Je me suis trouvé un jour en situation difficile ; monté au haut d'une tour en construction et arrivé au faîte, la dernière échelle était trop courte, à peine pouvais-je, en m'allongeant, m'accrocher au plancher formant la plate-forme supérieure. Par

malheur, dans les efforts que je fis, l'échelle tomba et je me trouvai suspendu par les bras dans le vide. Entraîné aux exercices de sauvetage, je fus vite rétabli sur les coudes et de là en sûreté. Si j'avais dû attendre des secours, suspendu par les mains, j'étais perdu.

Jamais plus que ce jour je n'ai senti la nécessité de l'application au grimper et il me siérait mal de la critiquer ici ; je n'en ai du reste pas la moindre intention. Mais il ne faut pas établir de confusion entre les exercices utiles et les fantaisies acrobatiques.

J'ai vu des gymnastes élégants incapables de s'établir sur une poutre un peu grossière tandis qu'ils brillaient sur des engins artificiels.

Dans un voyage d'exploration et même en campagne, nous ne trouverons pas de recs ni de fines barres parallèles, mais des obstacles plus arides et des difficultés plus ardues auxquels il faut nous rompre pour être véritablement fort et perfectionné.

Il faut abandonner la croyance à la vertu exclusive des engins gymnastiques et ne pas s'imaginer qu'il n'y a qu'eux seuls pour susciter des efforts sérieux.

La locomotion par les bras est considérée à tort comme le summum de la gymnastique. En réalité il n'y a pas perfectionnement dans le sens physiologique mais adaptation nouvelle d'organes insuffisants à une nouvelle fonction.

Le perfectionnement physiologique c'est la santé, la résistance à la fatigue et la forme esthétique ; rien de tout cela n'est donné par les exercices de grimper.

Les effets des trapèzes, des barres fixes et parallèles ne sont pas plus intenses que les autres, ce sont d'autres effets, nous l'avons démontré plus haut. Les enfants ont des parties faibles, ce sont les muscles redresseurs du dos : les exercices de grimper ne font qu'augmenter encore la disproportion entre l'action des muscles du dos et les muscles fléchisseurs déjà trop forts.

Un acrobate marche sur les mains et mange avec le pied, cela étonne les badauds ; mais, quelle application sociale peut-on en tirer ?

Le travail des bras est moins considérable qu'il paraît être, vu la difficulté d'exécution et la fatigue nerveuse produite ; la somme de travail dans 100 mètres de course ou dans l'ascen-

sion d'une montagne est bien autre chose (v. p. 458). La fatigue est simplement due à la faiblesse des muscles auxquels on commande des efforts disproportionnés, l'énervement qui en résulte fait croire à une énergie extraordinaire, mais c'est une pure illusion. Pour produire un travail important, il faut, nous le verrons, effectuer des déplacements de la masse totale du corps et non pas seulement se balancer avec souplesse à des appareils de suspension. Habituellement les déplacements de la masse du corps sont obtenus au moyen des muscles des membres inférieurs, dans la gymnastique aux agrès on veut les obtenir au moyen des bras, voilà la différence, de là des difficultés qui paraissent extraordinaires et sont bien inutiles.

En résumé, il faut savoir se mouvoir avec les bras mais il faut en faire non pas une règle, mais une exception.

Nous allons analyser quelques-uns de ces exercices devenus classiques.

Station sur les mains. — Dans cette station anormale, le poids du corps est supporté totalement par les membres supérieurs, l'équilibre du système est dû à l'équilibre partiel de chacun des segments les uns sur les autres. En commençant par la partie supérieure, nous voyons que l'équilibre de la jambe sur la cuisse est dû à la contraction des extenseurs, les membres inférieurs étant accolés parallèlement par la puissance des adducteurs forment un système dont le centre de gravité passe en avant de la ligne des têtes fémorales. Leur poids a pour effet de produire l'extension forcée de la cuisse sur le bassin, extension que nous savons limitée par les ligaments antérieurs de la capsule fibreuse (ligaments de Bertin), et par les fléchisseurs (psoas-iliaque) (fig. 481).

Le poids des membres inférieurs a pour effet d'exagérer la courbure lombaire de la colonne vertébrale et la courbure cervicale, si la tête est fortement relevée par la contraction des extenseurs, pendant que la courbure dorsale est diminuée.

La limite à l'extension des vertèbres est l'imbrication et la rencontre des apophyses épineuses et articulaires surtout à la région dorsale, la résistance des disques intervertébraux et la tension des fléchisseurs de la cuisse et du rachis (psoas-iliaque, muscles abdominaux).

L'ensemble des membres inférieurs et du tronc est en équilibre sur la ligne des têtes humérales; le bras étant dans la position d'élévation avec bascule de l'omoplate, celle-ci doit être maintenue fortement par les trapèzes, angulaires, rhomboïdes qui supportent directement le poids du tronc et s'opposent à son abaissement ainsi que par le grand dentelé qui, maintenant l'obliquité de l'omoplate, permet à celle-ci de présenter vers le bas la surface articulaire de la cavité glénoïde qui sert de base de sustentation.



Fig. 481. — Station sur les mains.

L'équilibre du système tronc et membres inférieurs se rapproche de la stabilité si son centre de gravité se projette sur la ligne des épaules; mais les *deltoïdes* et *pectoraux* luttent constamment pour le rétablir et font l'office des *fessiers* et *psoas-iliaques* pendant la station droite. Au début du mouvement, les *deltoïdes* sont seuls chargés de l'extension du tronc sur le bras, c'est-à-dire de l'élévation du tronc, mais ensuite le corps tend à être entraîné du côté du centre de gravité, l'effort des adducteurs du bras (pectoraux, dorsaux) est alors nécessaire (fig. 482).

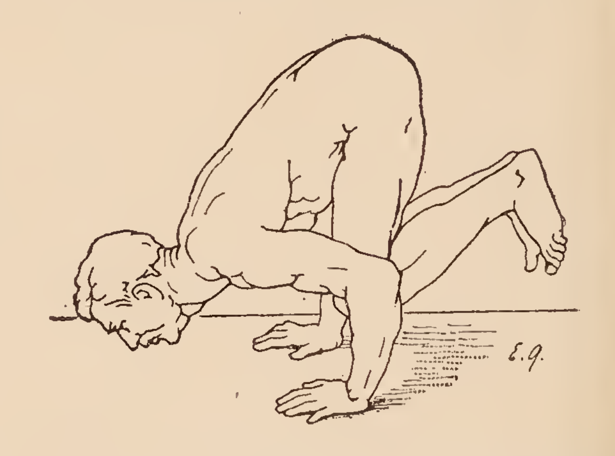


Fig. 482. — Élévation du corps sur les bras, poussée énergique des bras au début du mouvement.

Dans tous les cas l'avant-bras étant légèrement fléchi sur le bras, l'effort des extenseurs (triceps brachial) est considérable. Ceux-ci agissent sur l'extrémité d'un levier du premier genre représenté par l'avant-bras, dont le point d'appui est le coude, la résistance le poids du tronc et des membres inférieurs se transmettant à la main par la

réaction du sol comme pour la station sur la pointe des pieds.

L'effort des triceps nécessaire à maintenir l'avant-bras en équilibre sur le bras sous un angle donné, dépend nous l'avons vu de cet angle et de l'inclinaison de l'avant-bras.

Les muscles moteurs de la main et des doigts agissent avec efficacité pour maintenir la stabilité alors que l'équilibre a été obtenu.

Cet équilibre ne peut exister que si le centre de gravité de tout le système se projette sur la base de sustentation formée par la surface comprise entre les deux bords externes des mains.

Ses inconvénients. — Les inconvénients inhérents à l'attitude précédente sont manifestes : courbure exagérée de la colonne, tension de la partie inférieure de la capsule articulaire de l'articulation de l'épaule, effort considérable des élévateurs des bras, inversion totale de toutes les actions musculaires naturelles et de l'action de la pesanteur, épaule remplissant l'office de bassin, chute des viscères abdominaux sur le diaphragme ; afflux du sang dans la cavité cranienne et obstacle apporté à son cours par la compression des veines du cou : enfin, difficulté de l'équilibre pouvant amener des chutes graves sur les côtes, tout concourt à démontrer que cet exercice est antiphysiologique.

Il revient au point de vue musculaire et pour les membres supérieurs à l'élévation d'un poids qui aurait pour intensité le poids même du corps, les jambes restant inactives.

La station sur une main serait encore plus défectueuse par son manque de symétrie et sa difficulté (fig. 125).

Ces stations anormales ne peuvent du reste être maintenues que pendant un temps relativement court.

Suspension fléchie. — La suspension les bras allongés a une action considérable sur la dilatation thoracique, nous en avons parlé précédemment (page 165).

Dans la suspension fléchie, l'avant-bras est fléchi sur le bras, celui-ci est en adduction plus ou moins forte ; le poids du corps appliqué au centre de gravité est la résistance à vaincre, elle a pour effet de tendre à produire la suspension allongée, c'est-à-

dire l'extension de l'avant-bras sur le bras et l'abduction verticale du bras. Ces extensions sont empêchées par les muscles spéciaux de la flexion de l'avant-bras, *biceps brachial, brachial antérieur, long supinateur* qui fait une forte saillie sous la peau en dedans de l'angle du coude, et par les adducteurs du bras, *grand dorsal*, *grand pectoral*, *grand rond*, etc.

La condition générale d'équilibre est que le centre de gravité du système soit sur une verticale passant par la ligne de sustentation définie par les mains ; aussi, dans la suspension fléchie à une barre, où le tronc élevé se trouve placé totalement en arrière du point d'appui, les jambes sont généralement portées en avant, les cuisses fléchies sur le bassin par la contraction des fléchisseurs et des muscles abdominaux.

L'équilibre est stable mécaniquement, mais physiologiquement très instable, car la contraction musculaire est intense d'autant plus que les segments du bras se rapprochent de la rectitude.

Si, dans la suspension fléchie, on n'a pas soin de conserver aux coudes l'écartement des épaules, si au contraire, on les porte en dedans et en avant, serrés contre le thorax en donnant aux *pectoraux* la prédominance d'action dans l'adduction du bras, la longueur de la fibre des pectoraux finit par diminuer à la suite d'une longue pratique, leur tonicité augmente, aussi, même dans le repos musculaire, les têtes humérales sont attirées en avant vers la ligne médiane, elles entraînent la clavicule et l'omoplate, ce qui a pour résultat final d'arrondir le dos transversalement et de déprimer la poitrine (Voy. *Bases scientifiques de l'Éducation physique*).

Ces inconvénients n'existent pas si l'on a soin de contrebalancer et même de vaincre l'action des pectoraux en attirant l'épaule en arrière par la contraction énergique des muscles dorsaux et synergiquement celle du trapèze. On arrivera sûrement à ce résultat en maintenant toujours aux coudes un écartement au moins égal à celui des épaules (fig. 483).

La facilité avec laquelle cette attitude sera prise et conservée dépend du rapport entre les distances d'insertion des muscles et la longueur des segments osseux, ainsi que de l'exiguité relative de la résistance, c'est-à-dire du poids du corps. Cette facilité sera donc grande chez des sujets qui auront l'insertion

des dorsaux et pectoraux fort basse, les muscles puissants et dont le poids du corps ne dépassera pas 65 kilogrammes en

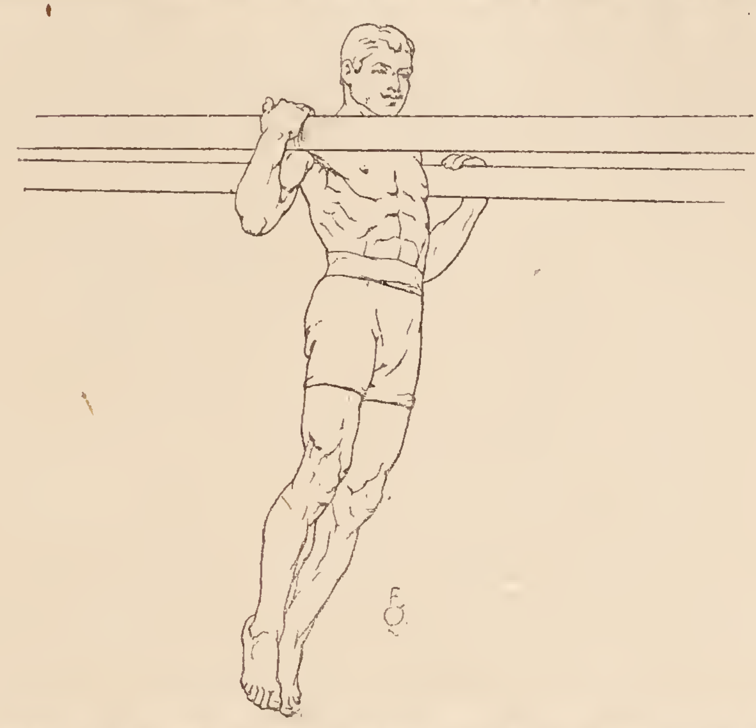


Fig. 483. — Suspension fléchie à deux barres parallèles.

moyenne, les membres inférieurs étant peu développés. Ces conditions se rencontrent surtout chez les hommes de petite taille aux membres supérieurs courts et trapus (fig. 484).

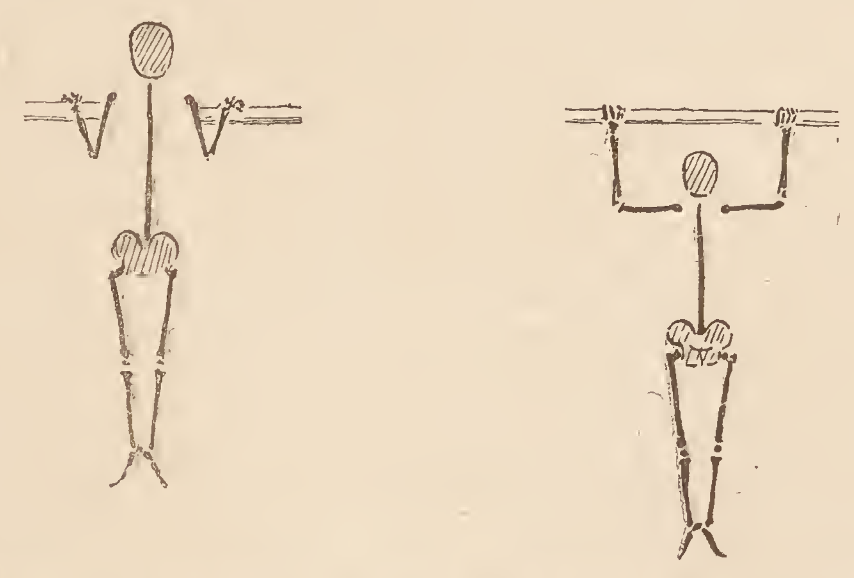


Fig. 484. — Suspension fléchie à une barre les mains écartées.

Dans la suspension fléchie par un seul bras l'effort musculaire est le double du précédent, il est donc excessif, asymétrique, le corps est incliné de façon à ce que le centre de gravité du système soit sur la verticale passant par la main qui sert de crochet de suspension (fig. 485).

La suspension fléchie est plus difficile à maintenir les mains en pronation que les mains en supination; cela tient à ce que le biceps brachial dont le tendon s'enroule autour du radius est un pronateur avant d'être un fléchisseur de l'avant-bras. Si la main est fixée en pronation, l'action pronatrice est empê-

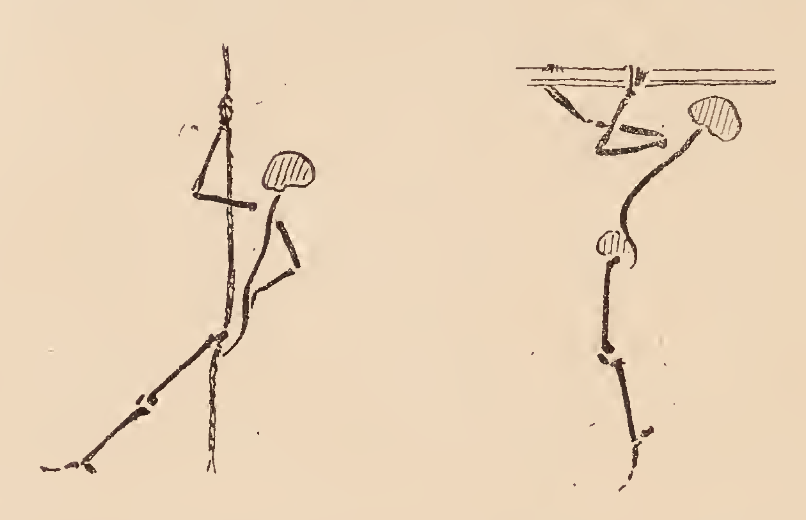


Fig. 485. — Suspension fléchie par un seul bras et suspension fléchie à une seule barre pour progresser le corps restant droit.

chée, l'action fléchissante est donc indirecte, et la flexion est accompagnée d'une torsion de l'avant-bras.

Suspension renversée. — On peut, soit en se suspendant par les mains, soit en s'accrochant par les pieds, maintenir le corps verticalement la tête dirigée vers le sol. Dans la suspension renversée par les mains le corps est en équilibre autour de l'axe des épaules, l'équilibre est instable et n'est maintenu que grâce au concours des muscles abducteurs et adducteurs du bras ainsi que les fixateurs de l'omoplate. Dans la suspension renversée fléchie, le bras vient en abduction grâce à l'effort des deltoïdes; dans tous les cas le tronc est suspendu aux omoplates et clavicules par l'intermédiaire des trapèzes, angulaires, rhomboïdes, etc., le moignon de l'épaule est abaissé, entraînant la clavicule qui peut ainsi comprimer les vaisseaux. L'effet sur l'épaule est analogue à celui produit dans la station verticale par deux poids tenus dans les mains et qui auraient chacun pour intensité la moitié du poids du corps (fig. 486).

La suspension par les pieds est un équilibre stable qui ne nécessite que l'effort des fléchisseurs du pied faisant alors l'office de crochet.

Mais dans ces suspensions, les muscles se contractent involontairement afin de rapprocher les surfaces articulaires qui tendent à se séparer.

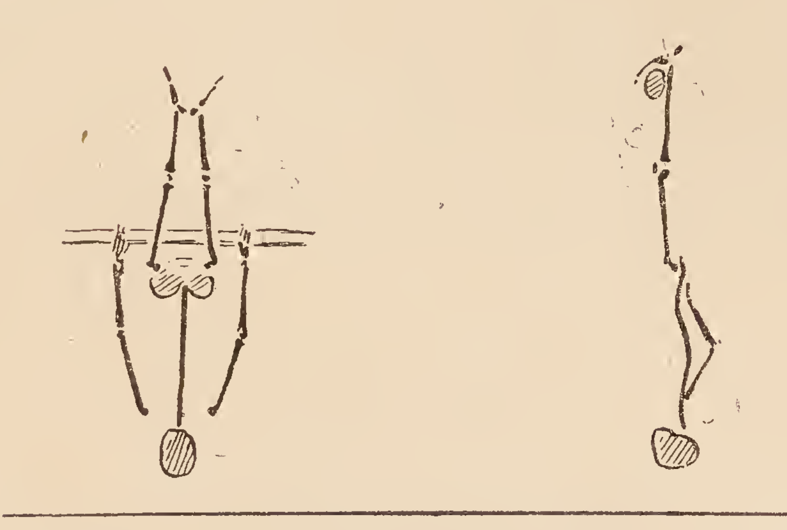


Fig. 486. — Suspensions renversees par les mains et par les pieds.

Ces attitudes sont antiphysiologiques, les viscères tombent sur le diaphragme, le sang abandonne les membres inférieurs pour affluer à la tête et produire une congestion intense.

Ces attitudes peuvent avoir les plus grands inconvénients suivant les dispositions du sujet, elles doivent être pratiquées avec la plus douce progression, car il y a toujours effort.

Suspension par les pieds et par les mains. — Si l'on s'accroche par les extrémités des membres à deux barres parallèles, l'atti-



Fig. 487. — Suspension par les pieds et les mains et appui sur les pieds et les mains.

tude qui en résulte, appelée *Sirène* par les praticiens, offre les particularités suivantes :

L'effort musculaire n'est nécessaire qu'aux extrémités, le tronc est suspendu par les membres comme un hamac par ses

cordons. S'il y a des contractions musculaires elles sont toutes fléchissantes, l'extension apparente de la colonne vertébrale est passive (fig. 487).

Les viscères abdominaux sont attirés en bas et reposent sur la paroi abdominale antérieure fortement distendue.

Les inconvénients principaux de cette suspension sont donc d'exagérer la courbure lombaire et de faire supporter à la ligne blanche une distension qui peut dépasser ses limites de résistance.

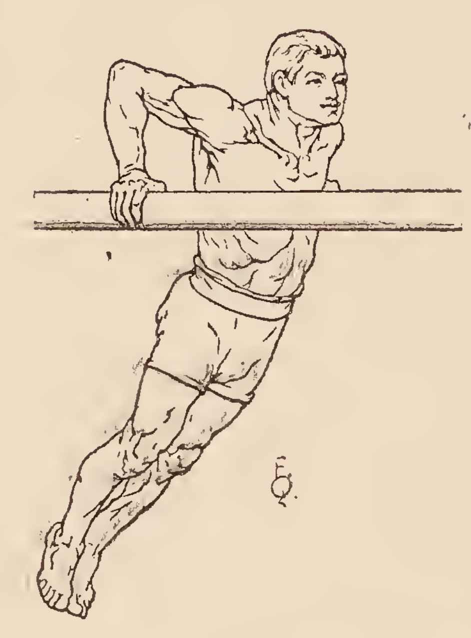


Fig. 488. — Appui fléchi sur deux barres paralleles.

Appui fléchi. — Nous avons fait un parallèle de la suspension et de l'appui en même temps qu'une analyse de l'appui (voir p. 165).

Si étant à l'appui tendu, on diminue progressivement la contraction musculaire, on passe à l'appui fléchi. Le poids du corps produit l'abduction des bras en arrière et la flexion de l'avant-bras sur le bras.

L'abduction du bras est contrebalancée par l'effort des adducteurs, principalement par l'action des faisceaux inférieurs des pectoraux (fig. 488), l'équilibre du bras sur l'avant-bras est produit par la contraction des extenseurs, contraction d'autant plus énergique que l'angle des segments est plus grand.

L'équilibre total est stable car le centre de gravité du corps est en dessous des points d'appui ; au minimum d'abaissement, la contraction musculaire n'est pas bien utile, car les bras restant parallèles, leur abduction est limitée en arrière par la rencontre

de la tête humérale avec l'acromion et en avant avec l'apophyse coracoïde ; l'omoplate tend à être arrachée du thorax, et n'est retenue que par la tonicité et la contraction des muscles qui la relient au thorax (fig. 489).

Le système solide tronc et bras est ainsi en équilibre sur la ligne des coudes, l'avant-bras étant maintenu immobile sur la main et presque vertical. Le centre de gravité du corps passe par la ligne d'appui des mains sur les barres.

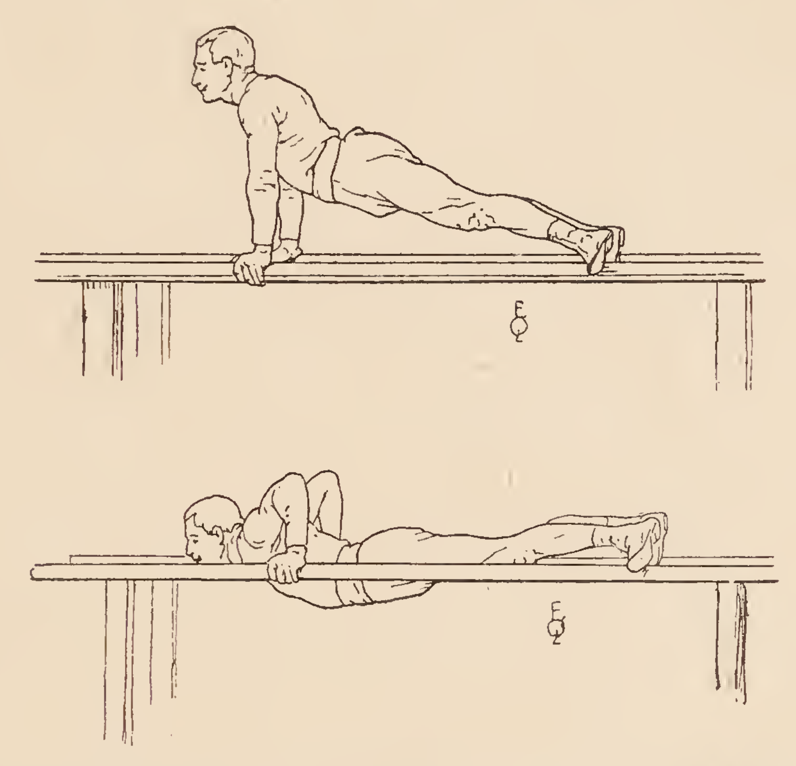


Fig. 489. — Appui tendu et appui fléchi sur les pieds et les mains.

Les inconvénients mécaniques de cette station sont les mêmes, l'intensité en moins, que ceux du renversement aux anneaux sur lequel nous reviendrons.

L'abduction forcée en arrière disloque l'articulation scapulo-humérale et fait subir aux ligaments une tension exagérée. Le pectoral ayant son insertion humérale fortement rejetée en arrière, ses fibres fortement distendues, suspend ainsi le thorax à la manière d'une sangle qui passerait sur le sternum. Il en résulte la dépression des côtes et une gêne marquée dans les mouvements respiratoires.

Cette compression donne lieu après le mouvement à un gonflement des pectoraux qui fait croire à l'effet de cette station sur l'ampliation du thorax. C'est en réalité tout le contraire qui a lieu, car les muscles du dos sont relâchés.

Passer de la suspension allongée a la suspension fléchie. — La résistance est le poids du corps ; la puissance, l'action des fléchisseurs de l'avant-bras et celle des adducteurs du bras.

L'effort musculaire est d'abord considérable quand les segments des membres sont presque dans le prolongement l'un de

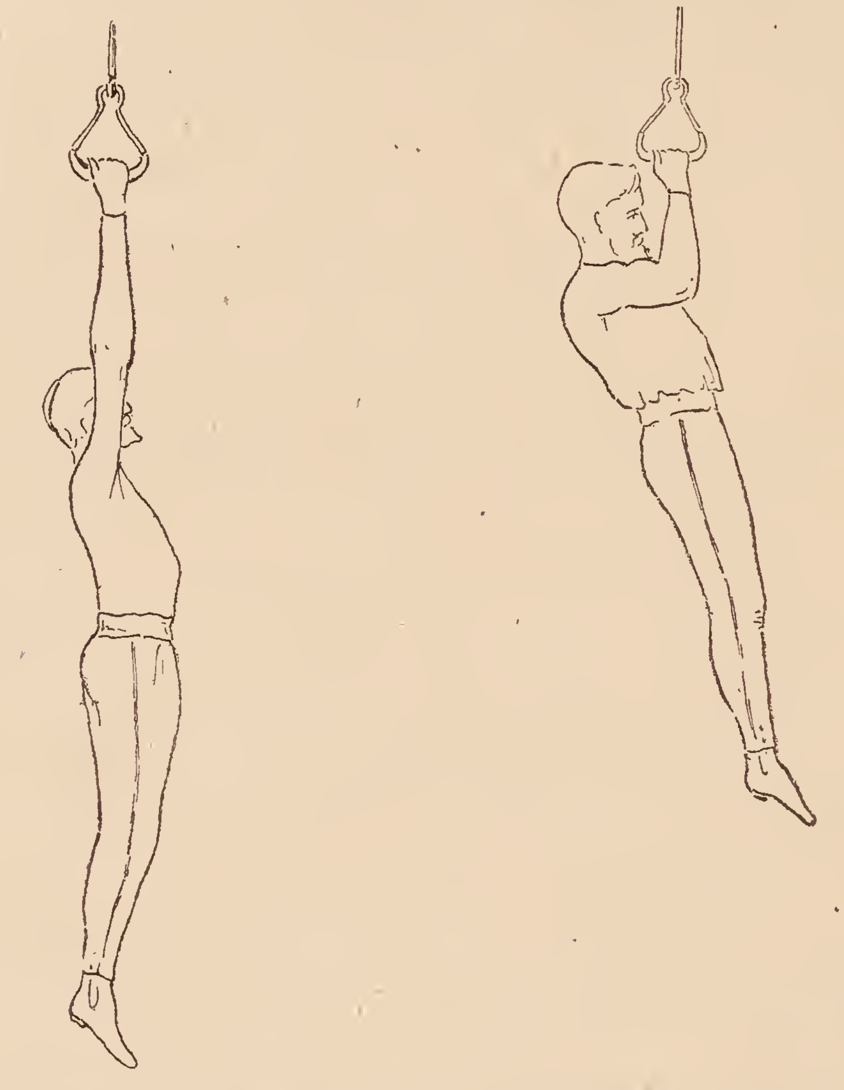


Fig. 490. — Suspension allongée et suspension fléchie aux anneaux, attitude défectueuse des bras attirés contre la poitrine par les muscles pectoraux.

l'autre, car les muscles sont dans la situation la plus défavorable à leur action, étant presque parallèles aux segments à mouvoir (fig. 490).

Puis, l'effort va en diminuant et devient minimum lors du maximum de flexion et d'adduction du bras.

L'effort est d'autant plus intense que le poids du corps, surtout celui de parties inactives comme les viscères abdominaux et les jambes, est plus grand. Aussi cet exercice est difficilement exécuté par la plupart des adultes non exercés.

Il est presque toujours accompagné d'une flexion des jambes

sur le tronc et d'une contraction des muscles abdominaux. La première a pour but de conserver au centre de gravité sa position première au-dessous de la base d'appui lorsque le tronc ou la tête sont rejetés en arrière ; la seconde s'oppose à l'extension de la colonne que le *grand dorsal*, vu ses insertions pelviennes, produit en même temps que l'abaissement du bras.

La condition d'élévation verticale directe, sans balancement, est que le centre de gravité du corps soit toujours situé verticalement au-dessous de la base de suspension.

L'effet de ce mouvement est mauvais sur la dilatation thoracique, à moins que l'adduction du bras soit confiée à l'action prédominante des dorsaux qui attirent l'humérus en arrière. Cela aura lieu si l'on prend bien soin d'abaisser les coudes latéralement en leur conservant une distance maximum.

L'action prédominante des pectoraux aurait au contraire pour effet de rapprocher les coudes de la ligne médiane, de resserrer les épaules, par suite d'arrondir le dos, de comprimer les côtes et de gêner la respiration.

Ce fait est de la plus haute importance, c'est un axiome en gymnastique : *l'action des dorsaux, aidés des trapèzes et rhomboïdes doit être constamment opposée, et constamment victorieuse de celle des pectoraux.*

Comme conséquence, la valeur relative des appareils est toute naturelle ; la préférence sera donnée à celui qui s'oppose au rapprochement des coudes et leur permet d'être rejetés en arrière.

Les barres parallèles hautes, l'échelle horizontale, offrant au corps deux points d'appuis latéraux à écartement fixe, remplissent évidemment tout le desideratum, tandis que la barre fixe est un obstacle que le corps rencontre en avant, ce qui nuit à l'abduction des coudes en arrière et que les anneaux offrent une base d'appui variable et oscillante.

Les nombreux mouvements que l'on exécute à la suspension, quelque variés qu'ils soient pour l'œil, reviennent en définitive au mouvement précédent exécuté plus ou moins vivement, dans un temps plus ou moins long, avec ou sans élan.

Les flexions et extensions de la jambe, l'abduction du membre inférieur étendu, sa circumduction, devront être exécutés très souvent à la suspension Ils auront le double effet et d'exercer

très fortement les muscles abdominaux et d'exagérer l'effort des dorsaux qui s'opposent à leur action en étendant la colonne vertébrale.

Renversement aux anneaux. — Un mouvement est digne de nous arrêter un instant, non pas pour ses qualités physiologiques, bien au contraire, mais en raison de l'importance qu'il a pris dans la leçon de gymnastique et des préjugés dont il est l'objet; c'est le renversement aux anneaux.

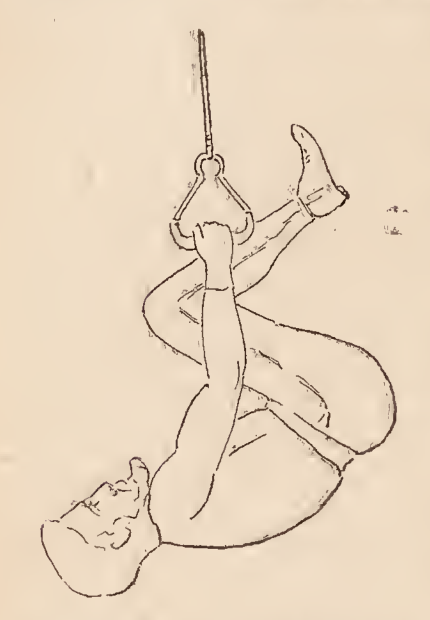


Fig. 491. — Suspension renversée aux anneaux (2e temps).

Dans ce mouvement, les bras restant à peu près fixes, le tronc pivote autour de l'axe des épaules. Le mouvement relatif du bras et du tronc est donc une véritable circumduction dans laquelle les points fixes des puissances ont été intervertis.

Analyse. — 3 temps :

1er Temps. Commandement vulgaire : *Tirez sur les bras*.

On passe de la suspension allongée à la suspension fléchie les mains en demi-supination. Le mécanisme de ce temps a été exposé plus haut (fig. 490).

2e Temps. *Se grouper en portant les genoux à la poitrine.* La flexion des cuisses s'accentue ainsi que la flexion de la colonne vertébrale; la flexion de la jambe sur la cuisse a lieu le pied étendu sur la jambe et les segments du bras demeurant dans la même situation relative.

Ce mouvement est difficile car la contraction énergique des dorsaux est tout à fait contraire à la flexion de la colonne vertébrale (fig. 491).

3e Temps. *Se renverser en arrière.*

Par une contraction des extenseurs de la tête le centre de gravité se rapproche de l'axe des épaules; par la contraction des pectoraux et autres adducteurs le tronc vient en adduction sur le bras; l'angle de ces deux segments va ainsi en diminuant, puis le bras s'allonge grâce au relâchement de ses fléchisseurs; l'adduction du tronc continuant toujours, il arrive

un moment où le centre de gravité vient à passer dans le plan vertical contenant l'axe des épaules et au-dessus de cet axe. A ce moment le tronc est en équilibre instable; le plus faible effort musculaire ayant pour effet de continuer l'adduction, suffit pour faire passer le centre de gravité en arrière du plan

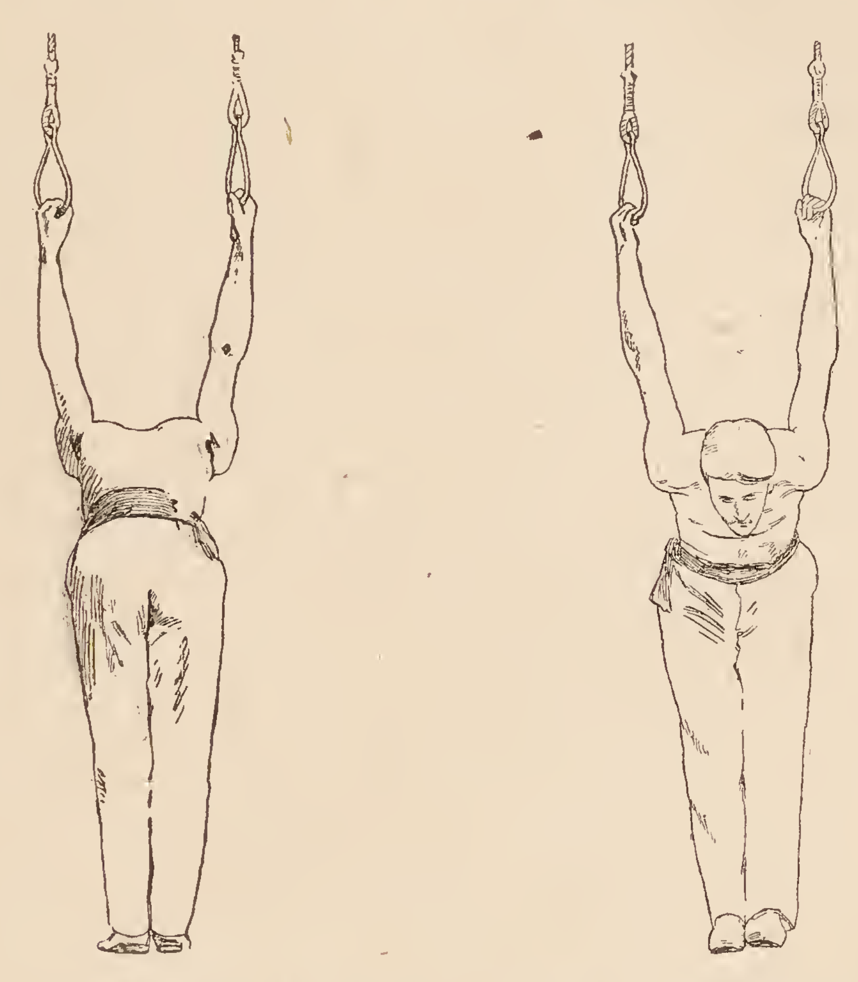


Fig. 492. — Attitude de renversement aux anneaux vue devant et derrière. On voit l'abduction exagérée des bras obligés de conserver leur parallélisme.

vertical où l'équilibre avait lieu et le mouvement continue de lui-même, sous l'action de la pesanteur.

L'angle de l'axe du tronc avec celui du bras diminue toujours; il devient nul, alors l'abduction du bras commence en arrière et ne s'arrête que par l'obstacle qu'oppose à la direction du mouvement la structure de l'articulation (fig. 492).

En effet, le mouvement précédent n'est autre que la circumduction du bras d'avant en arrière, le bras étant d'abord verticalement placé.

Nous avons vu que l'abduction ne peut avoir lieu en arrière au delà de 40° dans le plan antéro-postérieur, que la rencontre

de l'acromion avec la tête de l'humérus force celui-ci à se mouvoir dans le plan transversal (fig. 493).

Dans le mouvement d'anneaux, au contraire, les bras sont obligés de conserver leur parallélisme (fig. 494); l'abduction doit donc s'effectuer dans le plan antéro-postérieur et tout le

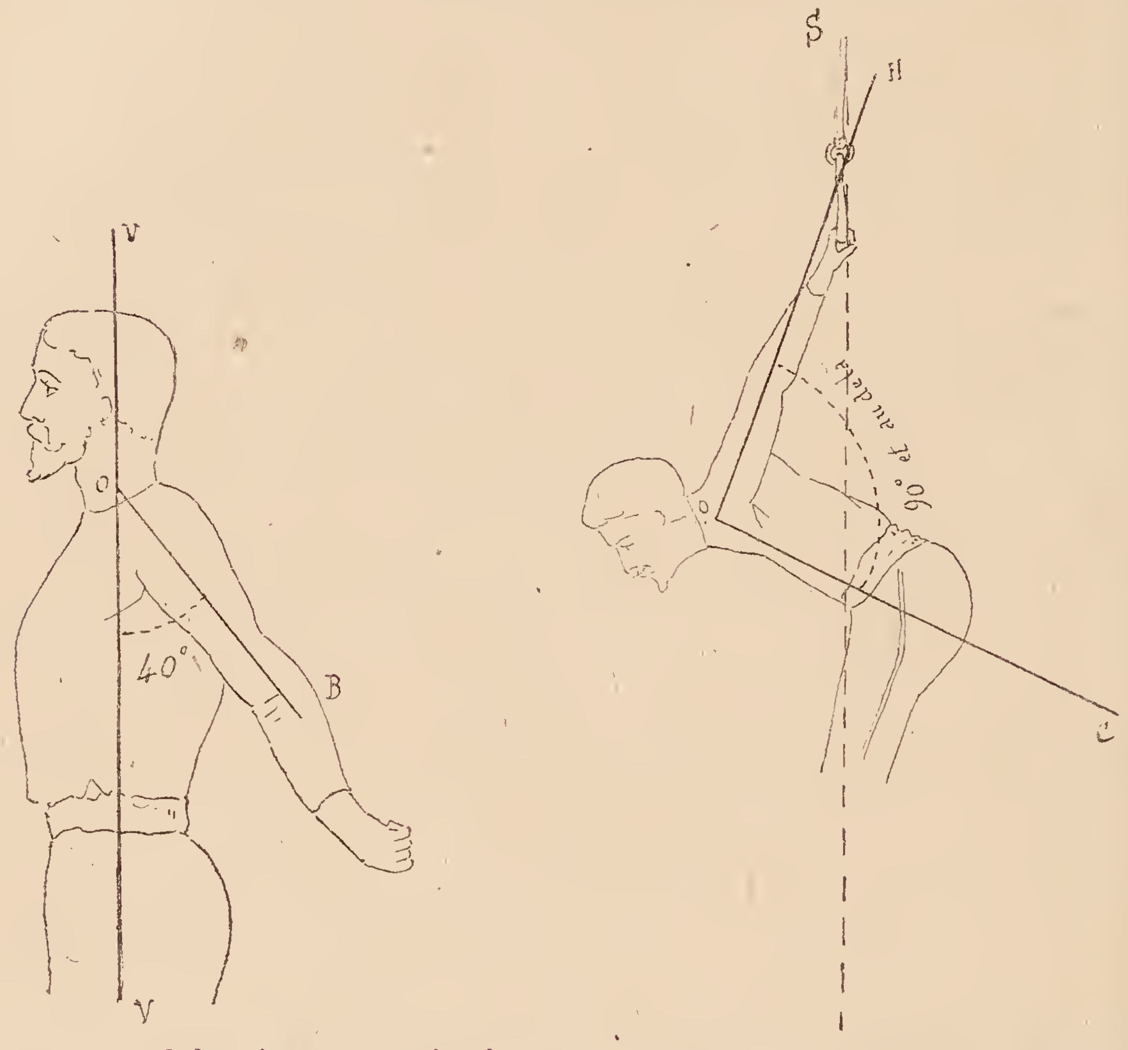


Fig. 493. — Abduction normale du bras en arrière par le seul effort musculaire.

Fig. 494. — Suspension renversée aux anneaux montrant l'abduction passive des bras en arrière exagérée par le poids du corps.

poids du corps a pour effet d'exagérer cette abduction limitée seulement par la résistance des ligaments, des muscles et des apophyses osseuses.

Aussi la tension de ces organes est-elle exagérée ainsi que la torsion de la capsule fibreuse et celle des tendons des muscles qui s'y rattachent.

L'omoplate tend à être arrachée du thorax, son angle inférieur fait saillie sous la peau et l'écart d'abduction du bras devient égal et même supérieur à 90°, c'est-à-dire dépasse de plus de 50° la position limite normale (fig. 494).

Comme il arrive souvent aux enfants manquant de force d'exécuter le troisième temps du renversement au moyen d'un élan et de ne pas s'opposer à la rotation trop accélérée du tronc par la contraction antagoniste des adducteurs, il se produit un choc violent accompagné de douleur persistante qui peut avoir des inconvénients graves sur la conformation de l'épaule chez les enfants dont l'ossification est loin d'être complète.

Le choc peut être assez violent pour que l'élève lâche prise et tombe la face contre terre ; s'il reste suspendu il offre une attitude satisfaisant aussi peu que possible aux exigences de l'esthétique.

Nous ne parlons ni des renversements qui se font à bras et jambes allongées et qui ne nécessitent qu'une force musculaire plus considérable, ni de la circumduction complète du bras à la suspension (dislocation) ni du mouvement de retour à la suspension simple, ces mouvements sont faciles à analyser et ne présentent pas d'intérêt physiologique.

Le renversement aux anneaux contient en réalité 3 grands défauts : action prédominante des pectoraux, compression de la poitrine, suspension renversée accompagnée d'effort, cause de congestion encéphalique, abduction forcée du bras en arrière et fatigue de l'articulation de l'épaule.

C'est un exercice détestable et nous ne croyons pas que l'attrait et la vogue dont il est l'objet puissent contrebalancer ses défauts physiologiques et annuler ses inconvénients sérieux.

Planches en avant et en arrière. — On peut classer dans la même catégorie les mouvements appelés *planches* ou l'attitude horizontale du corps en prenant point d'appui avec les mains sur un obstacle fixe.

Étant en suspension à une barre transversale, si l'on contracte énergiquement les adducteurs du bras en conservant l'avant-bras dans l'extension, l'effort des muscles prenant alors leurs points fixes sur le bras a pour effet de soulever le corps en le faisant pivoter autour des épaules et d'amener son axe à la situation horizontale. Cette attitude s'appelle la *planche en avant;* la face est tournée vers la partie supérieure (fig. 495).

Les muscles abdominaux, fléchisseurs de la cuisse, extenseurs de la jambe maintiennent la colonne et les segments du membre

inférieur dans la rectitude, s'opposant ainsi à la pesanteur qui produirait l'extension de la colonne vertébrale, de la cuisse et la flexion des jambes. Les fléchisseurs de la tête agissent aussi synergiquement avec une grande intensité pour fixer le sternum.

Quand l'équilibre a lieu, le centre de gravité est verticalement placé au-dessous de la barre, il est stable mais ne peut



Fig. 495. — Planches en avant et en arrière à la suspension.

être maintenu qu'un temps très petit vu l'effort qu'il nécessite.

La planche en arrière (fig. 495) est la position horizontale analogue du corps, la tête tournée vers le sol.

Les bras conservant leur parallélisme, l'abduction en arrière est limitée par la rencontre de l'acromion avec la tête humé-

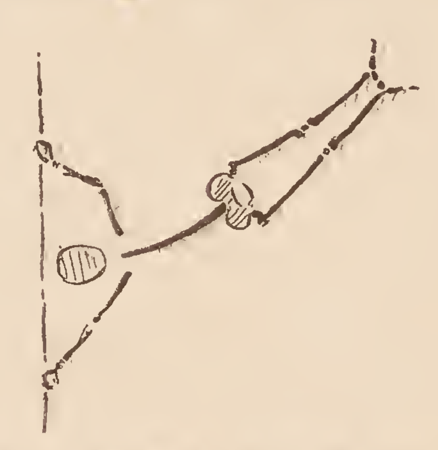


Fig. 496. — Planche latérale à un poteau.

rale. Cet obstacle soulage beaucoup la contraction musculaire nécessaire aux extenseurs de la tête, de la colonne vertébrale et du membre inférieur; la pesanteur produit sur les segments osseux une action opposée à celle qu'elle suscitait dans la planche en avant.

La planche latérale à un poteau vertical vers lequel on s'attire avec le bras supérieur et contre lequel on s'arc-boute avec le bras inférieur en extension met surtout en jeu les extenseurs de la colonne vertébrale du côté supérieur, les abducteurs de

la jambe supérieure et les adducteurs de la jambe inférieure (fig. 496).

MOUVEMENTS D'ÉLAN EN SUSPENSION. — Les mouvements d'élan que l'on peut imprimer au corps en suspension, sont des mouvements d'élévation verticale au moyen d'une traction vive ou de l'élévation brusque des genoux, des balancements d'avant en arrière ou latéraux dus au déplacement du centre de gravité par l'abduction des jambes, soit des combinaisons de chacun de ces mouvements. Le corps oscille toujours comme un pendule autour de la barre de suspension ou comme une succession de pendules mis bout à bout.

Au-dessous de 180° ces oscillations peuvent avoir pour effet d'augmenter la tension des muscles et des ligaments, de procurer à la colonne et aux viscères abdominaux des mouvements salutaires, mais au delà de 180° elles rentrent dans la classe des tourniquets, produisent la congestion ou l'anémie cérébrale suivant que la tête est dirigée vers la circonférence ou vers l'axe de rotation.

Inutile d'ajouter que leur rôle est alors antiphysiologique[1].

MOUVEMENTS A L'APPUI

PASSER DE L'APPUI FLÉCHI A L'APPUI TENDU. — La résistance à vaincre est le poids du corps.

La puissance musculaire a pour effet l'élévation verticale du centre de gravité par l'adduction du bras préalablement en abduction postérieure, sous l'action prédominante des pectoraux et par l'extension du bras sur l'avant-bras.

L'avant-bras représente ici un levier du premier genre ayant son point d'appui au coude. L'effort des extenseurs est donc défavorablement utilisé.

On voit encore la contraction des dorsaux produire dans ce

1. Dans les balancements on peut étudier la pression des mains sur l'appareil comme nous l'avons fait pour les pieds dans la locomotion; il suffirait d'avoir des explorateurs sous forme de gants à réservoir d'air communiquant avec les appareils enregistreurs. La manière de prendre de l'élan en suspension se rapproche de la théorie de l'escarpolette. (V. p. 439.)

mouvement l'extension de la colonne vertébrale avec extension synergique de la cuisse.

Dans les mouvements à l'appui, la condition de l'équilibre est que le centre de gravité du corps soit sur la verticale passant par l'axe des mains.

Si l'on étend une jambe horizontalement en avant, le centre de gravité de tout le système sera déplacé du même côté. Il faudra donc pour le ramener à sa première position, pour maintenir l'équilibre, rejeter le tronc et la tête un peu en arrière et faire un effort d'abduction des poignets (fig. 488).

Planche horizontale a l'appui. — On peut, en se penchant en avant, amener le corps à l'horizontale; l'effort des abduc-



Fig. 497. — Equilibre sur deux mains ou une seule main le corps étendu horizontalement, dit planche horizontale à l'appui.

teurs (portions antérieure des deltoïdes et supérieure des pectoraux) lutte contre l'adduction des bras produite par la pesanteur et maintient le bras et l'axe du tronc sous un angle constant pendant que le tronc et les membres inférieurs sont maintenus en extension, comme dans la planche en arrière, par les extenseurs de la colonne, de la tête et des cuisses (fig. 497).

Tous les muscles qui agissent sur le carpe, les métacarpiens et les doigts entrent dans une violente contraction ayant pour effet de solidifier l'extrémité du membre supérieur qui sert de point d'appui.

Cette contraction est douloureuse.

Balancements a l'appui. — On peut aussi à l'appui tendu imprimer au corps un mouvement de balancement d'avant en arrière par la contraction alternative des adducteurs et abducteurs du bras, ainsi que par celle des fléchisseurs de la cuisse.

Dans la demi-oscillation en avant, le corps est arrêté dans

son abduction sur le bras, mais les jambes entraînées se fléchissent fortement sur le tronc. Dans la demi-oscillation en arrière au contraire, les jambes s'étendent et le corps tout entier pivote autour de l'axe des épaules décrivant ainsi un arc de cercle qui peut aller jusqu'à 180° (fig. 498 et 499).

Cette demi-oscillation est plus lente que la première, le bras reste sensiblement vertical.

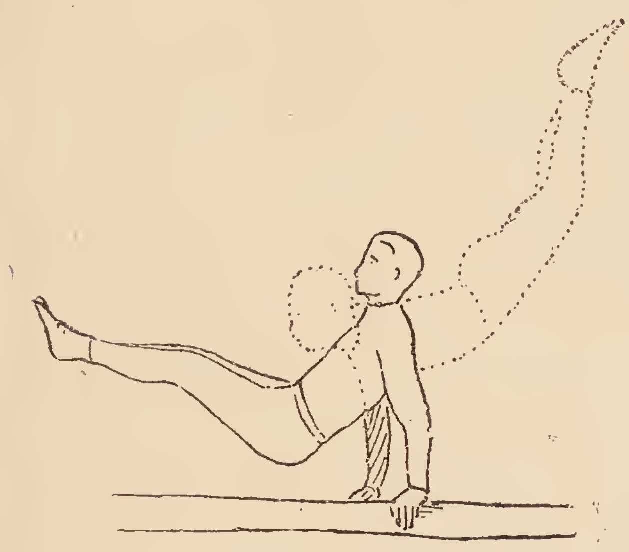


Fig. 498. — Un balancement complet à l'appui tendu sur les barres parallèles.

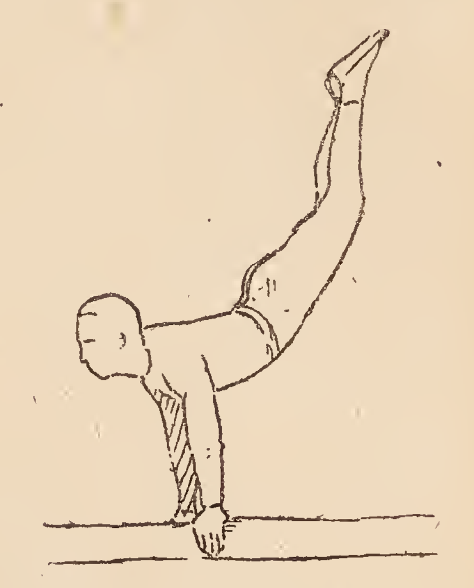


Fig. 499. — Balancement du corps en arrière à l'appui tendu.

Le balancement à l'appui fléchi peut avoir lieu autour de l'axe des épaules et de celui des coudes (fig. 500).

L'oscillation en arrière est encore ici plus étendue qu'en avant à cause de la difficulté d'abduction du bras en arrière, et à chaque oscillation le bras s'étend un peu en soulevant ainsi tout le corps. On peut combiner les deux espèces de balancements en étendant les bras à la fin de l'oscillation en avant et en les fléchissant à la fin de l'oscillation en arrière ou inversement.

Tous ces mouvements fort violents agissent surtout sur les ligaments articulaires; ils ne nécessitent qu'une contraction musculaire subite et discontinue qui, par l'habitude, est faible si on la sait employer aux moments convenables.

Ils ont l'inconvénient de disloquer les articulations des cartilages des côtes avec le sternum, ainsi que l'articulation de l'épaule et d'agir par compression sur le cœur et les vaisseaux.

PASSER DE LA SUSPENSION A L'APPUI. — Le passage de la suspension à l'appui tendu est ce que l'on appelle le rétablissement; il peut se faire sur divers obstacles et de différentes manières.

Nous examinerons :

1° Le rétablissement direct;

2° Le rétablissement par renversement;

3° Le rétablissement par élan.

RÉTABLISSEMENT DIRECT SUR LES POIGNETS. — Si, étant en suspension allongée à une barre, on passe à la suspension fléchie par

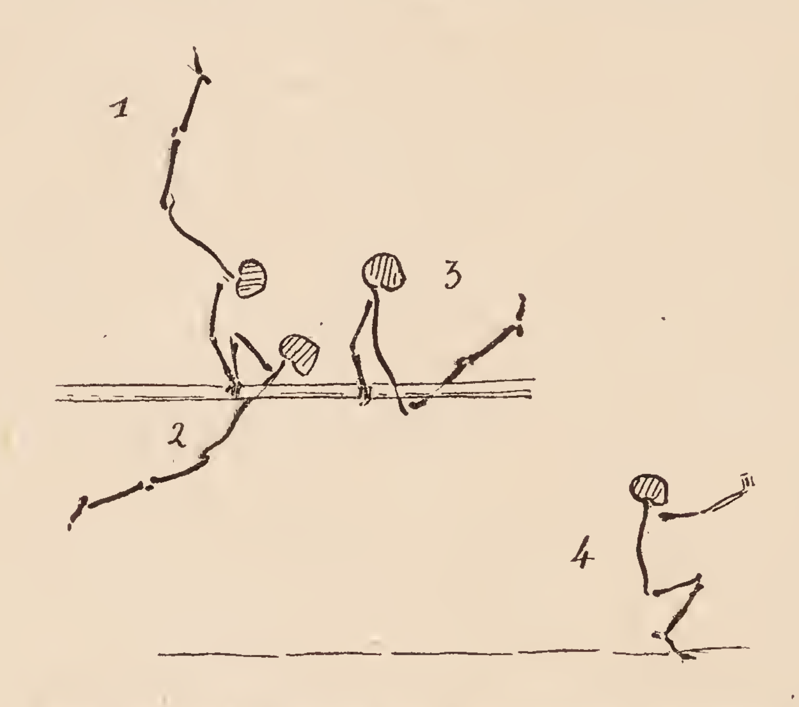


Fig. 500. — Balancements du corps à l'appui sur les barres parallèles.

1, départ; — 2, descente du corps avec flexion des bras; — 3, remontée des jambes avec extension des bras; — 4, chute.

un effort progressif des adducteurs du bras et des fléchisseurs de l'avant-bras, on élèvera le centre de gravité du corps verticalement jusqu'à la rencontre de la barre transversale avec le thorax, environ à la hauteur du mamelon. En fléchissant fortement la région cervicale de façon à amener la tête en avant, en fléchissant aussi les membres inférieurs sur le bassin, on amènera le centre de gravité du corps le plus près possible de la barre de suspension, on pourra alors par un effort vigoureux d'abduction du bras en arrière, exécuté simultanément avec l'extension de l'avant-bras sur le bras et sur la main, élever les coudes, substituer la sustension ou l'appui fléchi à la sus-

pension fléchie et ensuite par l'extension des bras passer à l'appui tendu (fig. 501).

Ce mouvement est plus difficile à exécuter à une barre transversale qu'à des appareils comme les anneaux qui offrent deux points d'appui latéraux et symétriques. La raison en est que le corps restant toujours en arrière de la barre, son centre de gravité est amené de ce côté, le tronc tend à basculer autour

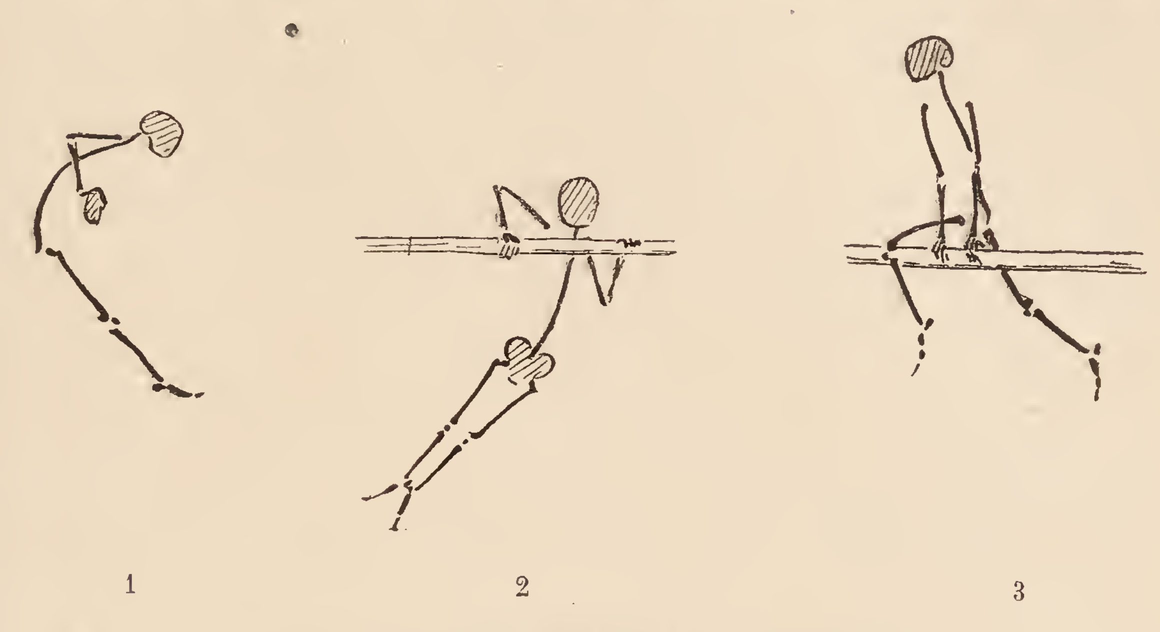


Fig. 501. — Rétablissements à une barre.

1, par effort simultané des bras ; — 2, alternativement sur les poignets ; — 3, au moyen de la jambe.

de la barre pour ramener ce centre de gravité verticalement au-dessous, condition d'équilibre ; aussi, pour s'opposer à ce mouvement, il est nécessaire d'exécuter une forte flexion de la tête, de la colonne vertébrale et des extrémités inférieures.

Ce mouvement, qui exige un effort violent, ne donne aucun résultat au point de vue du développement thoracique, par suite ne doit être considéré que comme application pratique dans un cas de sauvetage.

Dans l'appui tendu sur une barre transversale, le corps a une direction oblique par rapport à la verticale, l'abdomen est en contact avec la barre d'appui.

On peut se rétablir alternativement sur les poignets en faisant passer l'un des bras de la suspension à l'appui pendant que l'autre soutient en partie le poids du corps (fig. 502).

Ce mouvement est plus facile à exécuter et à analyser

Rétablissement par renversement. — Étant à la suspension à une barre horizontale, on peut se rétablir à l'appui en exécutant autour de cette barre une sorte de révolution que l'on appelle *renversement.*

Pour cela, on fléchit fortement les membres inférieurs sur le tronc, on amène ainsi les extrémités presqu'en contact avec la barre. On fait une forte traction sur les bras, le tronc et les membres inférieurs restant fléchis. Tout le tronc s'élève verticalement parallèlement à lui-même, les jambes glissent perpendiculairement à la barre jusqu'à ce que le corps vienne en contact avec elle.

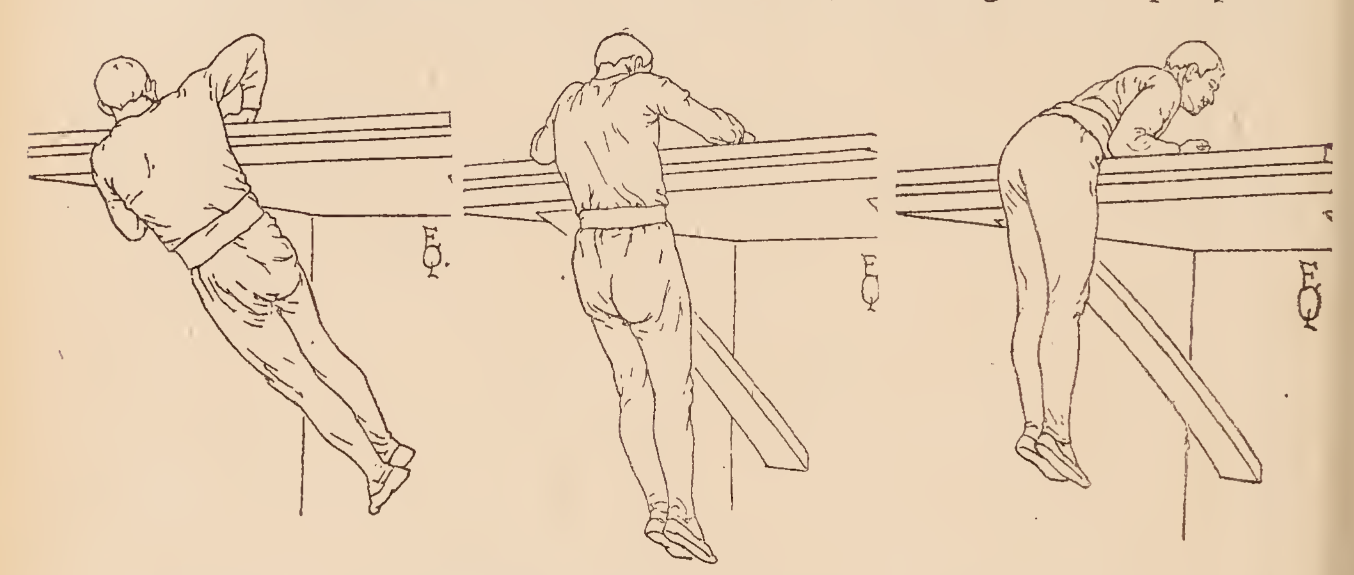


Fig. 502. — Rétablissement à la planche par la force des bras.

Il arrive un instant où, la flexion des jambes continuant, celles-ci passent en arrière du plan vertical contenant la barre. Leur déplacement amène le centre de gravité de leur côté et si, à ce moment, on fait effort maximum des bras pour élever le tronc contre son point d'appui, tout le système basculera, entraîné dans le sens de la flexion des jambes.

Par une extension énergique du tronc faite à un moment convenable, on se trouvera en équilibre instable, appuyé sur le ventre, le centre de gravité du corps au-dessus de la barre, un effort des bras achèvera de vous mettre à l'appui.

Si ces mouvements font exercer fortement les muscles abdominaux, ils ont l'inconvénient de congestionner violemment et de froisser les viscères en contact avec la barre.

Rétablissement par élan. — Si, suspendu à une barre, on

prend un balancement d'arrière en avant ou bien si, placé un peu en avant de cette barre, on saute à la suspension les bras allongés et presque horizontalement placés, les jambes étendues, les cuisses fléchies sur le tronc environ à 45°, le centre de gravité étant situé en arrière de la barre, le corps se met à osciller d'arrière en avant si l'on a soin d'éviter la contraction musculaire, c'est-à-dire de conserver aux articulations de la hanche et de l'épaule, toute leur souplesse (fig. 503). L'oscillation est analogue à celle d'un pendule, composé de trois segments articulés : bras, tronc et jambes. Ces trois segments, d'abord en flexion, s'étendent l'un sur l'autre, et, quand le corps vient à passer verticalement sous la barre, l'extension des jambes due à leur oscillation d'avant en arrière continue à se produire comme si elles oscillaient seules autour de la hanche, tandis que le tronc oscille en avant. Ce dernier dépasse sa position d'équilibre qui est le plan vertical passant par la barre, l'abdomen fait saillie en avant, l'oscillation du tronc se faisant en sens inverse de celle de la jambe.

Fig. 503. — Positions successives du corps dans un rétablissement par élan à une barre.

1, départ ; — 2, temps de rein ; — 3, rétablissement.

L'extension de ces deux segments est à son maximum ; l'exagération de la courbure qui en résulte a fait donner vulgairement à ce mouvement le nom de « temps de rein », dénomination qui n'a de sens que par convention.

Alors (3e temps), le centre de gravité du tronc ayant dépassé la verticale qui passe par l'axe de suspension, le tronc se met à osciller d'avant en arrière, les jambes prennent un mouvement en sens inverse. On exagère cette flexion des jambes par la contraction des muscles abdominaux, en même temps on effectue une adduction très énergique des bras tendus par la contraction des dorsaux et pectoraux ; vu le point d'appui des mains sur la barre, cette adduction a pour effet de fléchir le tronc sur le bras comme dans la planche en avant. Ces trois mouvements

simultanés : oscillation du tronc d'avant en arrière, oscillation des jambes d'arrière en avant, élévation du tronc au moyen de l'adduction des bras, ont tous pour effet l'élévation du centre de gravité ; ils sont amplifiés considérablement par l'élasticité des ligaments et des muscles distendus au moment où les segments du corps s'étendent en passant sous la barre. La tension de ces muscles devient très forte au moment où le corps oscille en avant ; il faut faire alors peu d'effort pour provoquer une oscillation inverse dont la vitesse est suffisante pour élever le centre de gravité suivant un chemin sinueux. C'est encore le rôle des muscles antagonistes que nous retrouvons ici.

Par une rotation de 180° de l'épaule autour des mains en entraînant tout le poids du corps, celui-ci passe subitement de la suspension tendue à l'appui tendu ; il vient au contact de la barre pendant que les jambes s'étendent ; il peut se maintenir à l'appui, son axe suffisamment incliné sur l'horizon pour que le centre de gravité situé pendant l'extension sensiblement dans le corps de la 5e vertèbre lombaire vienne se projeter au-dessus de la barre (fig. 503).

On peut s'établir sur une planche au moyen du pied ; on se figure suffisamment le mouvement pour qu'il soit superflu de le décrire.

Progressions à la suspension.

Les progressions à la suspension sont à distinguer suivant le mode de suspension à une barre ou deux barres parallèles, suivant que la suspension est allongée ou fléchie, alternative ou simultanée et suivant que la direction de la progression est horizontale, oblique ou verticale.

Suspension allongée en progression sur une barre horizontale. — On peut progresser latéralement le long d'une barre horizontale en suspension par les mains, les bras allongés.

A cet effet, les bras étant parallèles, si l'on s'attire vers la barre latéralement par une légère traction du bras droit, le corps se mettra à osciller à droite, autour de la main gauche comme point de suspension. Cette traction cessant subitement,

l'oscillation se fera à gauche et, dès que le bras droit sera tendu le centre de mouvement passera dans la main droite, la pression de la main gauche sur la barre diminuera jusqu'à devenir nulle, celle-ci pourra se soulever et se déplacer dans le sens de la progression c'est-à-dire dans le cas présent de la gauche vers la droite. L'oscillation du corps ayant lieu ensuite dans cette direction, le bras gauche se tend, la main correspondante sert de centre d'oscillation tandis que la main droite supportant une partie de plus en plus faible du poids du corps peut devenir

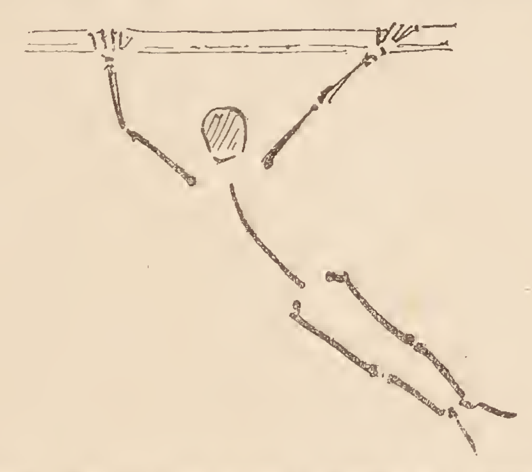


Fig. 504. — Progression par balancements à une barre horizontale.

libre, se déplacer à droite en avant de la progression et ainsi de suite (fig. 504).

Le rythme dépend de la taille du sujet assimilé à un pendule; les oscillations sont d'autant plus lentes qu'il est plus long.

La *progression à bras fléchis à une barre* est différente de la première, les oscillations du corps diminuent avec le déplacement des mains; la contraction musculaire très énergique rend le mouvement pénible et de courte durée, même si l'on a soin de ne contracter que les muscles des membres supérieurs, seuls nécessaires au mouvement et surtout d'éviter *l'effort*. Ce mouvement est aussi mauvais pour la dilatation thoracique que le premier est favorable.

La progression à une seule barre, l'axe des épaules perpendiculaire à cette barre et les mains symétriquement placées permet un écart plus grand des mains ; la même progression en suspension fléchie est la plus détestable et la plus pénible des progressions à la suspension, à moins toutefois de placer les mains transversalement comme les Suédois et d'obliger l'extension de la tête (fig. 485).

Progression simultanée. — La progression simultanée est celle où, étant en suspension allongée, on attire vivement et simultanément le tronc verticalement vers la barre, au moyen de la flexion des avant-bras et de l'adduction des bras. Le corps prend une vitesse verticale de bas en haut, la pression des mains sur la barre diminue; au maximum d'élévation, cette pression s'annule et le corps est en suspension. On profite de ce moment pour déplacer les deux mains latéralement du même côté de la même quantité et changer ainsi le point de suspension; au moment de l'appui des mains, une nouvelle traction sur les bras a lieu suivie d'un appui plus éloigné, le corps progresse donc latéralement d'une façon saccadée et rythmée. Cette progression est analogue à une série de sauts de côté et successifs; le mouvement des bras peut être ici remplacé par une élévation verticale des genoux au moment de la traction des bras; cette élévation augmente la vitesse verticale du corps et ajoute son effet à la traction des bras. Les sujets peu rompus à ces exercices de suspension et d'ailleurs peu développés, usent instinctivement de ces moyens qui subviennent à leur force musculaire. Ils s'agitent alors de la façon la moins élégante, font beaucoup de contorsions inutiles, mais les mouvements dominant toujours sont des élévations de genoux.

Progression en suspension a deux barres parallèles horizontales. — La progression peut être alternative ou simultanée, allongée ou fléchie.

Dans la progression alternative allongée, le corps suspendu par les mains, la ligne des épaules perpendiculaire aux barres, prend un balancement à droite par une légère traction sur le bras correspondant; pendant l'oscillation suivante à gauche, la main gauche se soulève et va se replacer en avant de son point d'appui; puis c'est la main droite qui se déplace, et ainsi de suite en conservant une cadence en rapport avec la taille.

Si l'on fléchit les bras, les distances des appuis des mains diminuent, le rythme s'accélère, la contraction rend le mouvement pénible, surtout si les mains sont en pronation avec rotation des bras en dedans.

La progression se fait simultanément au moyen d'une traction vive des bras, suivie d'une suspension pendant laquelle

les mains peuvent être déplacées, l'effet est le même que dan la progression à une barre, le mouvement des bras est seulement un mouvement en avant au lieu d'un mouvement latéral pendant la suspension.

L'élévation brusque des genoux peut avoir le même avantage et, pour éviter un balancement d'avant en arrière, il faut avoir soin de donner une nouvelle impulsion aussitôt après l'appui, sans s'arrêter.

Ces mouvements peuvent s'exécuter en avant, en arrière, avec différents mouvements de jambes; nous n'insistons pas, leur analyse est facile, on y trouverait des analogies parfaites avec la marche, le saut; une condition nécessaire de progression, est l'existence de frottements développés au contact des barres.

Nous avons vu, quand nous avons traité du développement thoracique, que la qualité de ces progressions dépend de l'allongement des bras et de l'écartement des mains.

Les marches prolongées en suspension allongée à des barres horizontales ayant plus de l'écartement des épaules, seront donc très efficaces et le plus à recommander. Les fixateurs de l'omoplate en arrière, les portions moyennes et inférieures des trapèzes, les rhomboïdes, sont fortement mis en jeu par l'écartement des mains. On peut encore exagérer l'effet à une échelle horizontale par une progression latérale en suspension à des échelons fortement distants.

Au contraire, toute progression à bras fléchis et à une seule barre, donne aux pectoraux la prédominance d'action funeste que nous avons déjà indiquée à propos de la suspension et dont les conséquences sont l'attitude vicieuse des épaules et l'affaissement thoracique, sans compter les troubles dus à un effort continu.

Dans les suspensions l'action sur le redressement du tronc et sur la dilatation thoracique dépend de l'élongation de la colonne vertébrale, grâce à la passivité des muscles fléchisseurs et au poids du corps.

Dans les balancements, la pression des mains sur la barre de suspension varie constamment, l'effort d'élongation varie comme elle et ne s'exerce pas d'une façon constante (fig. 505). Il en résulte que l'attitude de suspension allongée a un effet

plus intense sur la dilatation thoracique que tous les exercices avec élans.

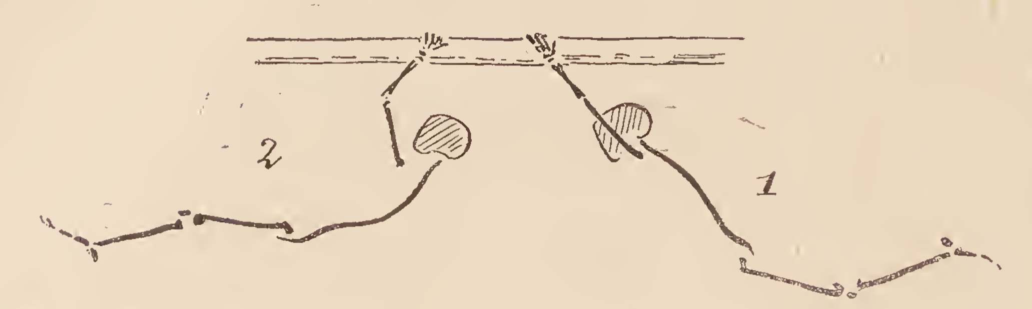


Fig. 505. — Progression par balancement en suspension allongée à deux barres parallèles.

Progression oblique. — Toutes les progressions à des perches, cordes, échelles placées obliquement, peuvent se faire à l'aide des pieds et des mains ou à l'aide des mains seulement.

L'effort musculaire, nécessaire dans la suspension, et la progression horizontale, est ici insuffisant ; il y a en effet élévation

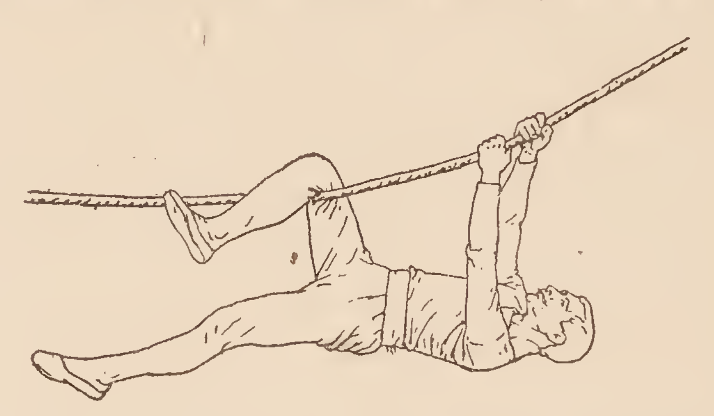


Fig. 506. — S'élever au moyen des bras et des jambes à une corde inclinée.

verticale du corps à chaque déplacement des mains. Cette élévation correspond à une production de travail mécanique considérable et ne peut avoir lieu que si l'on s'attire par les bras ou si l'on se repousse par les jambes en changeant ses points d'appui. Il n'y a donc pas de progression oblique ni verticale à bras complètement allongés (fig. 506).

Dans la progression à une perche oblique, ou une corde tendue obliquement, l'équilibre est très difficile à conserver si l'on est couché sur la perche et si l'on progresse en attitude d'appui oblique qui a une grande analogie avec le ramper. L'équilibre est instable, le corps tend à tourner autour de la perche jusqu'à ce qu'il ait exécuté une révolution de 180 degrés et que l'on soit en suspension oblique.

Dans cette suspension elle-même, on peut progresser à l'aide des pieds et des mains, soit en s'accrochant par les extrémités diagonalement opposées, la main et l'angle du genou, et en déplaçant dans le sens de la progression les deux autres membres ainsi rendus libres ; soit en déplaçant alternativement les mains et les pieds et prenant tour à tour point d'appui et point de suspension, en serrant la perche au même point avec les pieds ou avec les mains et en faisant des flexions et extensions du tronc comme nous le verrons dans le grimper vertical.

Dans la progression en suspension oblique à la perche ou à la corde à l'aide des mains seulement, les jambes doivent rester passives ; on passe successivement de la suspension fléchie à deux mains à la suspension fléchie à une seule et il faut conserver cette pénible attitude pendant que le bras, devenu libre, s'élève et prend un point d'appui plus élevé, grâce à la pression des doigts et aux frottements développés par cette pression.

Les progressions à l'échelle oblique ou à deux perches ou cordes obliques parallèles, ne diffèrent de celles que nous venons d'étudier que par l'écartement constant que doivent conserver les membres à l'appui, écartement qui, pour les membres supérieurs, rend la progression salutaire et efficace au point de vue du développement thoracique dans les suspensions. Il y a à observer un rythme, à tirer parti du balancement du corps qui doit, comme dans les progressions à la suspension horizontale que nous avons décrites, s'opposer à ce que, au moment du lever d'une des mains, le corps n'ayant plus tout à coup qu'un point de suspension latéral, n'oscille brusquement de ce côté et n'entraîne la main qui s'est levée loin du montant le long duquel elle doit progresser (fig. 507).

Les progressions peuvent aussi se faire simultanément à bras fléchis, sans balancement latéral, par sauts successifs.

En se servant des pieds et des mains et en suspension au-dessous d'une échelle oblique, on peut monter par les extrémités diagonales ou latérales en ayant soin d'éviter que les pieds ne quittent l'échelle, grâce à la tendance du corps à se mettre en suspension verticale.

Au-dessus de l'échelle, on progresse à l'appui sur les pieds comme sur un escalier, les mains ne servant qu'à maintenir

l'équilibre, ou à l'appui sur les mains, les jambes écartées serrant les montants de l'échelle par adduction des cuisses.

On peut aussi effectuer une suspension oblique de ce côté, le dos contre l'échelle et appuyant le long d'une planchette fixée aux échelons. Cette disposition, qui est celle de l'échelle dite

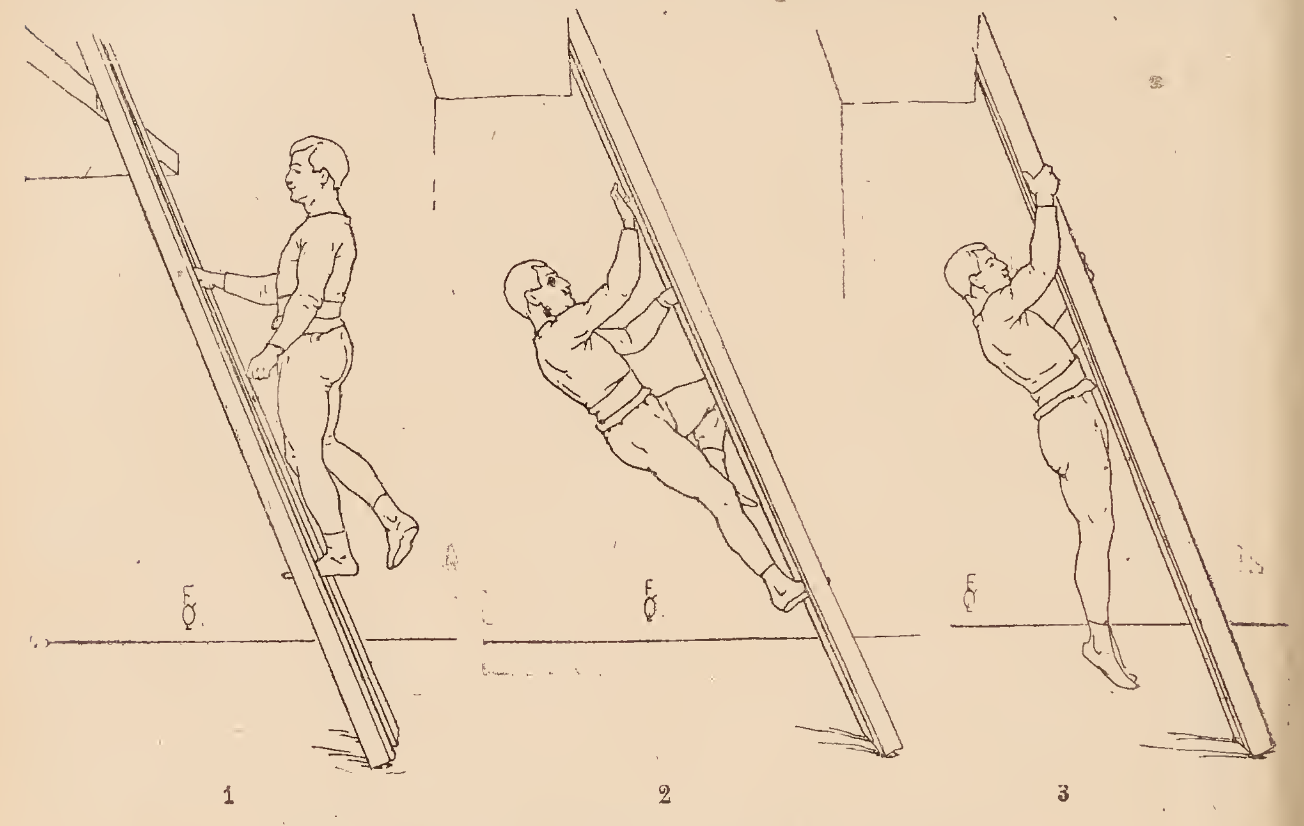


Fig. 507. — Progression oblique à l'échelle.

1, Monter à l'aide des pieds et des mains ; — 2, Monter par le revers à l'aide des pieds et des mains ; — 3, Monter par le revers à l'aide des mains.

orthopédique, a pour effet de rejeter les points de suspension en arrière de la ligne des épaules, ce qui contribue simultanément à rejeter l'épaule en arrière, et grâce à la suspension allongée, à dilater le thorax sans pour cela contracter les muscles du dos.

Progression verticale. — Cette progression constitue le *grimper* proprement dit, et s'exécute à l'aide des pieds et des mains ou à l'aide des mains seulement à une corde ou à deux cordes ou perches parallèles.

Le grimper à l'aide des pieds et des mains à une corde verticale se fait en prenant alternativement point d'appui et point de suspension au moyen des pieds et des mains serrant fortement la corde et s'opposant ainsi par les frottements développés au glissement vertical de tout le corps (fig. 508).

Les mains sont juxtaposées, les pieds entre-croisés serrent la corde sur leurs faces dorsales externes au moyen de l'extension de la jambe, de la flexion de la cuisse qui correspond au pied droit porté à gauche et de la flexion de la jambe et de l'extension de la cuisse gauche, qui correspond au pied gauche porté à droite. Dans le cas d'une corde à nœuds cette pression est considérablement amoindrie.

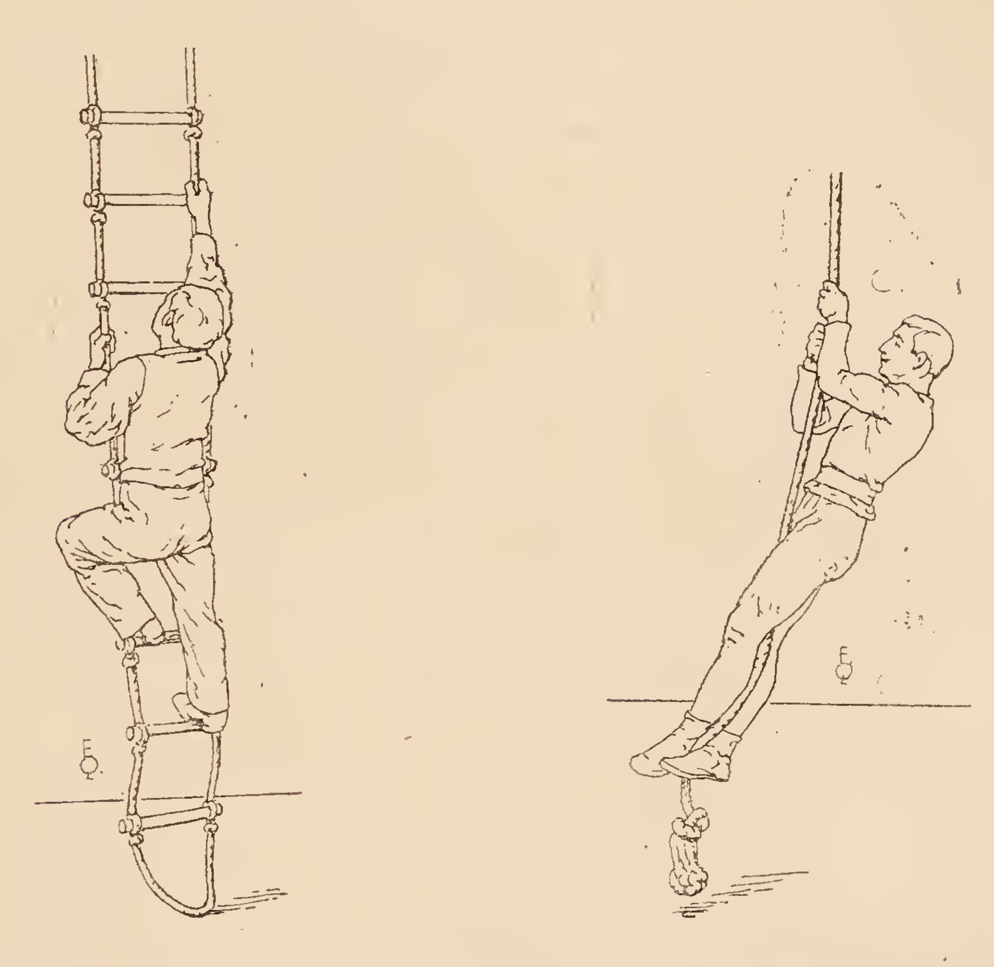


Fig. 508. — Grimper à l'échelle de corde et à la corde lisse au moyen des pieds et des mains.

La progression se fait en deux temps ; au premier temps, le point de suspension supérieur est fixé, les pieds se relâchent, les bras se raccourcissent, les cuisses et les jambes se fléchissent, les pieds sont ainsi amenés le long de la corde au-dessus de leur première position. Puis le point d'appui des pieds est fixé par un serrement convenable, les mains se relâchent, le tronc, les cuisses et les jambes s'étendent : les mains devenues libres, glissent le long de la corde jusqu'à élévation complète des bras, et serrent pour servir de nouveau de point fixe vers lequel est attiré comme précédemment tout le corps.

Ce dernier progresse à chaque changement de main de la hauteur à laquelle se sont élevés les pieds lors de la flexion des extrémités. Il y a donc intérêt à exagérer cette flexion ainsi que celle du tronc en même temps que la traction des bras et ensuite à bien étendre tout le corps pour reporter les mains le plus haut possible. L'analogie de ce grimper avec l'allure de la chenille est complète.



Fig. 509. — Grimper au mât vertical.

Les Japonais pratiquent un mode de grimper à la perche qui diffère du précédent en ce que le tronc et les membres inférieurs sont constamment fléchis, que le pied saisit la perche entre le gros et le second orteil et que deux membres diagonaux sont constamment appuyés pendant que les deux autres se déplacent. Le corps contracte assez d'adhérence avec la perche en s'attirant au moyen des bras et en se repoussant au moyen des jambes pour éviter le glissement. Cette allure, qui rappelle celle des singes est difficile mais beaucoup plus rapide que toutes les précédentes (fig. 509).



Fig. 510. — Perche dite Amorosienne servant aux escalades et aux sauvetages.

Le *grimper à la corde au moyen des mains seulement* consiste, étant en suspension fléchie des deux mains, à se tenir un moment en suspension fléchie d'un seul bras pendant que l'autre, devenu libre, s'élève pour saisir la corde le plus haut possible.

Dans la traction qui succède, le rôle de chacun des membres est interverti, le dernier qui vient de se poser reste fixe, le premier s'élève.

Cette progression est donc des plus pénibles ; il est surtout

difficile de posséder assez l'indépendance des mouvements pour qu'il n'y ait aucune flexion des jambes ou des cuisses sur le tronc. Sans cette qualité, les muscles abdominaux contractés, annulent presque entièrement la respiration et la progression ne peut se continuer. Nous avons étudié spécialement ces défauts

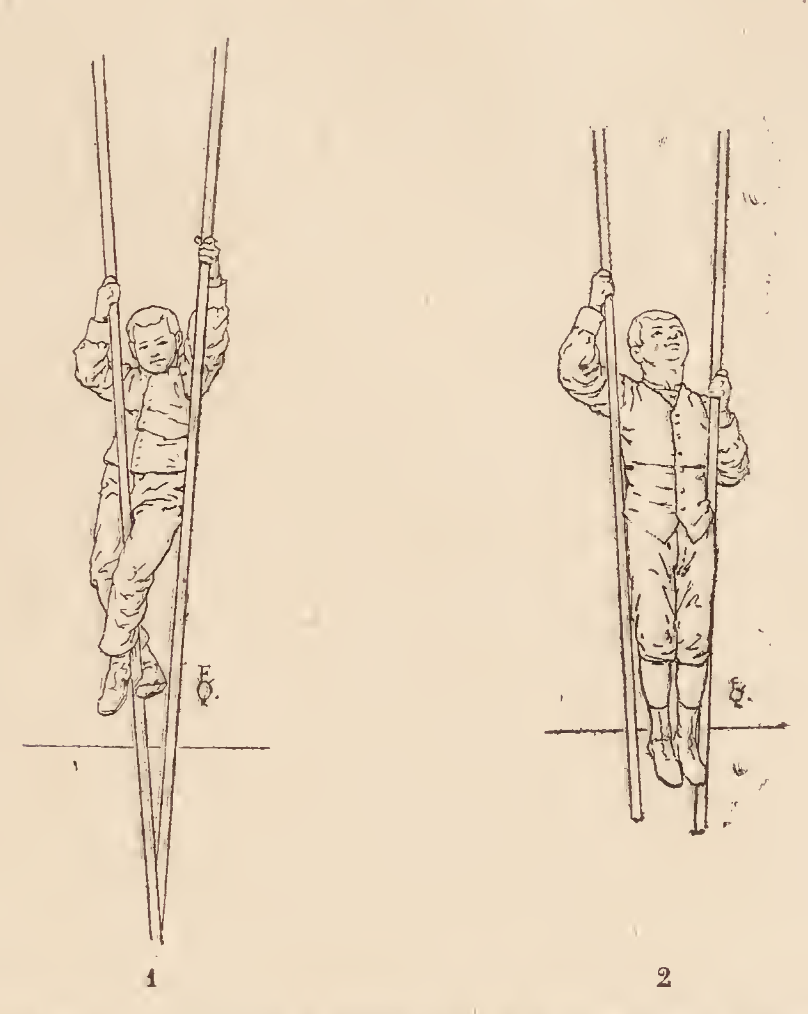


Fig. 511. — Grimper à deux perches verticales mobiles.
1, avec les mains et les pieds ; — 2, avec les mains seulement.

inhérents aux élèves mal coordonnés à propos de la coordination des mouvements. Dans tous les cas, l'exercice de la corde lisse et de la perche n'est qu'un exercice d'application en cas de sauvetage, mais non un exercice gymnastique proprement dit, car il renferme tous les défauts inhérents à l'effort et à l'attitude vicieuse de l'épaule due à la prédominance d'action des pectoraux (fig. 510).

Les exercices de grimper à deux cordes ou deux perches parallèles sont beaucoup moins mauvais, ils doivent être à l'exclusion des autres, pratiqués par les enfants, leur mécanisme se rapprochant de celui des progressions obliques.

Ils peuvent s'exécuter avec changement simultané ou alternatif des mains (fig. 511).

Le secours des pieds est ici plus gênant qu'utile.

Progressions à l'appui.

Les progressions à l'appui s'effectuent à une seule barre ou à deux barres parallèles, les bras étendus ou fléchis.

L'appui tendu ou fléchi peut être fait alternativement ou simultanément des deux mains ; la progression peut avoir lieu avec ou sans élan, avec ou sans l'aide des membres inférieurs.

Progressions a l'appui tendu. — L'appui des mains peut être alternatif ou simultané à une barre ou à deux barres horizontales avec ou sans balancement du corps.

Dans la progression a une barre avec appui alternatif des mains, le corps allongé étant en station à l'appui tendu sur cette barre, son axe incliné du côté de la barre, peut progresser péniblement surtout si, en balançant les jambes avec souplesse à droite ou à gauche on fait passer l'appui sur une seule main et l'on déplace dans le sens du mouvement celle qui est devenue libre par suite du balancement latéral, c'est-à-dire celle qui est située du côté où se fait ce balancement.

La progression avec appuis simultanés n'est autre qu'une succession de sauts dus à l'extension vive des bras préalablement fléchis. C'est pendant la suspension ou la diminution de pression qui suit l'extension des bras que l'on peut déplacer les appuis des mains vers la droite ou vers la gauche et ainsi progresser.

Par un mécanisme analogue s'exécutent les marches à l'appui sur deux barres parallèles. Dans les progressions avec appui alternatif des deux mains, le corps prend un léger balancement latéral qui fait porter un instant le poids du corps par la main opposée au côté où sont lancées les jambes, la main droite par exemple. La main gauche n'exerçant plus alors de pression sur la barre correspondante peut se déplacer librement et se porter en avant.

Elle portera à son tour le poids du corps dans l'oscillation suivante des jambes et ainsi de suite

La progression avec appuis simultanés ne peut être faite les jambes passives que par une succession de petits sauts dus à l'extension brusque des segments des membres supérieurs préalablement fléchis légèrement. L'inclinaison du corps dans le sens de la progression facilite l'exécution de ces marches dans lesquelles il faut observer un rythme convenable s'accordant avec le balancement des jambes.

Le rôle de l'élévation des genoux est analogue à celui que nous avons attribué aux bras dans le saut et aux jambes pendant

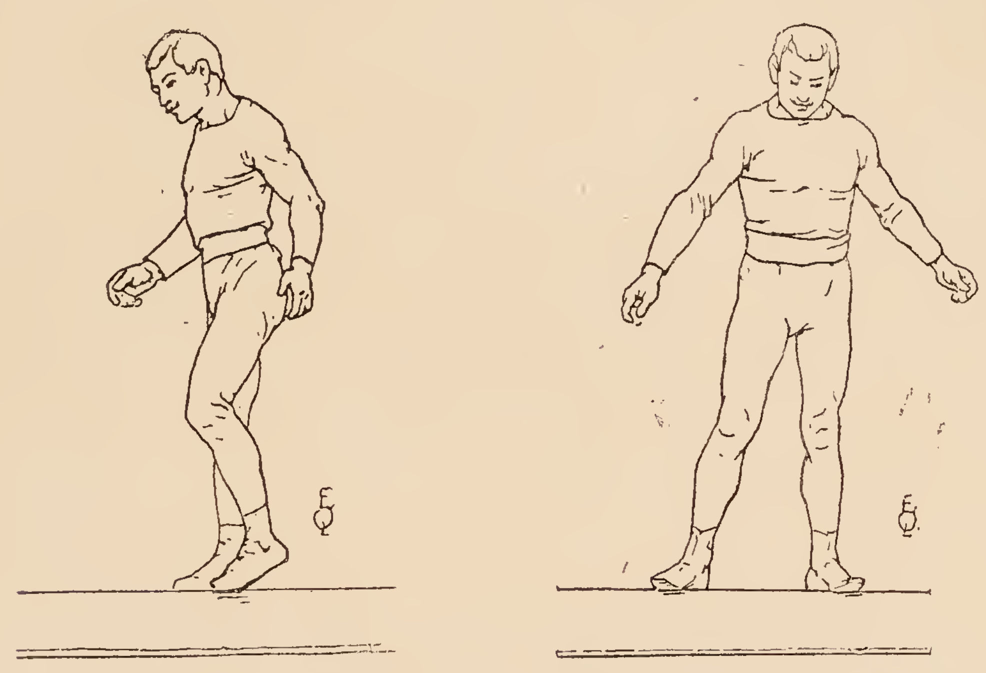


Fig. 512. — Marcher debout en avant ou de côté sur la poutre.

la suspension, il consiste toujours dans une augmentation de la pression à l'appui, augmentation suivie immédiatement d'une diminution en rapport avec la vitesse d'élévation. C'est au moment de cette diminution qui peut aller jusqu'à zéro, que le changement d'appui se fait.

Les élans ou balancements du corps autour de l'axe des épaules dans le sens de la progression ont la même propriété; ils aident dans la progression si l'on fait bien coïncider le lever des appuis avec le minimum ou le zéro de la pression. L'équilibre après le changement des mains est plus ou moins difficile, l'espace parcouru est plus ou moins grand suivant que le sens du balancement est ou n'est pas le même que celui de la progression.

La progression sur une poutre (fig. 512) peut offrir des avantages au point de vue de la sécurité; si l'on doit se transporter

à l'extrémité de cette poutre et qu'elle soit trop élastique ou bien qu'elle tourne sur elle-même on marchera à cheval ou assis sans danger, il faut seulement maintenir son équilibre et éviter de tourner latéralement (fig. 513).

PROGRESSIONS A L'APPUI FLÉCHI. — Comme pour les progressions à l'appui tendu, les progressions à l'appui fléchi sur deux barres parallèles peuvent être exécutées avec l'appui alternatif ou simultané des mains, avec ou sans balancement du corps.

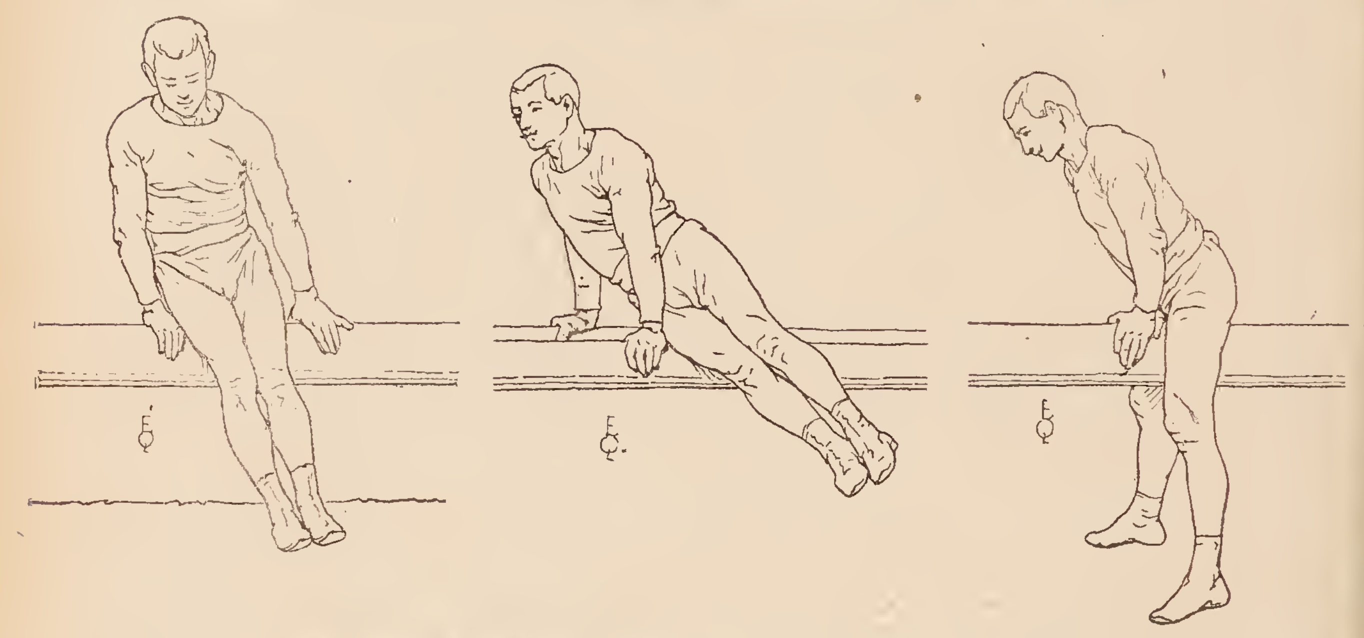


Fig. 513. — Attitude assise de côté et a cheval sur les barres et la poutre pour progresser.

Les progressions à l'appui fléchi sans balancements sont fort pénibles et peu élégantes. Le corps subissant, par le fait de l'extension vive des bras, une vitesse dans le sens vertical, c'est toujours au moment où la pression des mains devient minimum qu'a lieu le lever des appuis.

Il faut, pour exécuter correctement ces progressions, laisser les jambes dans l'inaction, spécialiser l'effort musculaire aux adducteurs du bras et aux extenseurs de l'avant-bras et éviter qu'un fâcheux balancement ne vienne contrarier le mouvement dans son rythme et son aisance.

Ces exercices demandent une grande force musculaire ; ils donnent aux articulations des côtes avec le sternum une grande souplesse et peuvent ainsi, peut-être, favoriser l'ampliation thoracique ou du moins l'amplitude des mouvements d'inspiration. Leur inconvénient et leur laideur provient de l'abduction forcée

du bras en arrière, produite par le poids du corps. Cette abduction n'a pour limite que la résistance des muscles et de l'articulation de l'épaule.

Cette dernière souffrira d'autant plus que les muscles seront moins développés. Nous conseillons de ne pas abuser de ces mouvements surtout avant l'âge adulte.

Il en est de même des progressions avec balancement à l'appui fléchi ou à l'appui fléchi et tendu.

Dans ces mouvements, on choisit toujours pour déplacer les mains le moment de l'oscillation du corps où la pression sur les barres est minimum. Le balancement du corps peut coïncider avec l'appui fléchi ou l'appui tendu suivi d'un appui fléchi et d'un appui tendu au moment du nouveau poser des mains.

On contrarie encore les mouvements en levant les mains au moment où l'oscillation des jambes est inverse de la progression ; il faut alors une poussée des bras dans le sens de la progression pour parvenir à se déplacer.

Nous ne pouvons aller plus loin dans l'étude de ces exercices plutôt curieux qu'utiles.

Il y aurait lieu de faire toute l'analyse de la locomotion par les mains comme nous avons fait l'analyse de la locomotion normale.

Les mêmes procédés photographiques et dynamographiques s'y prêteraient mais l'étendue de cet ouvrage est déjà assez grand pour laisser à d'autres le soin de compléter ces travaux.

Il y a du reste d'autres genres de locomotion plus intéressants et plus pratiques dont nous devons dire quelques mots.

CHAPITRE V

LOCOMOTIONS ET ALLURES DIVERSES

Natation. — La natation consiste à associer harmonieusement les mouvements des membres de façon à trouver sur l'eau un point d'appui pour se soutenir, pour progresser et conserver la tête hors du liquide afin de respirer.

La résistance à vaincre est celle que le milieu oppose à la progression ; c'est plus exactement le travail effectué dans le déplacement des couches d'eau mises en mouvement. Cette résistance augmente soit avec la vitesse de progression soit avec la vitesse de l'eau elle-même dans le cas où l'on remonte le courant.

La force motrice est l'action des muscles adducteurs des bras et des jambes ; l'art de nager consiste à employer au mieux cette action musculaire au bénéfice de la progression.

L'homme n'a pas, en général, la densité de l'eau ; cette densité moyenne dépend de la constitution, l'accumulation de la graisse la diminue notablement ; le volume du corps varie même pendant les deux périodes de la respiration. Cependant le poids d'eau déplacée peut être égal et même supérieur au poids du corps : c'est le cas de l'eau salée où l'on flotte sans mouvements. Surnager ne suffit pas, il faut encore pour que l'immersion soit sans danger que la bouche émerge hors de l'eau.

Les quadrupèdes flottent en général quand ils sont plongés dans l'eau, et la longueur de leur cou leur permet une extension suffisante pour que la bouche ne soit pas immergée. Ils n'ont pas d'autres mouvements à faire pour progresser que ceux qu'ils exécutent sur terre.

Au contraire, dans le cas où sa densité est inférieure à celle de l'eau, l'homme doit constamment s'appuyer sur celle-ci pour remonter à la surface ; il développe pour cela des actions de bas en haut et pour progresser il augmente l'énergie de ses mouvements.

La résistance de l'eau croît avec la vitesse de la progression ou avec la vitesse contraire du courant; elle croît aussi avec l'étendue des surfaces présentées contre l'eau. Pour vaincre cette résistance l'homme coordonne ses mouvements ainsi qu'il suit :

Il allonge les bras horizontalement en même temps qu'il fléchit les jambes avec une forte adduction latérale de la cuisse les pieds fléchis. Ensuite il amène les bras en abduction en même temps qu'il étend les jambes et produit l'adduction des cuissés.

Les premiers mouvements sont des mouvements préparatoires ; ils doivent être exécutés sans vitesse et sans brusquerie, car ils sont nuisibles à la progression. Les seconds mouvements produisent seuls l'effet utile ; ils doivent être faits avec vigueur et avec toute l'ampleur possible (fig. 514, 516 et 517).

Pendant l'adduction des bras et des cuisses, l'eau est repoussée en arrière par toutes les surfaces en mouvement. La quantité de mouvement est également partagée entre le corps et toutes les molécules d'eau déplacées. L'eau sert de point d'appui fuyant à la poussée des membres. Les surfaces internes des cuisses sont essentiellement actives, d'autant plus qu'elles sont plus larges ; pour ajouter à leur action on a essayé d'armer les extrémités des membres de palettes qui se déploient dans la période active et font l'office des membranes interdigitales des animaux palmés.

Ces tentatives avaient pour but de donner un grand développement aux surfaces utiles à la propulsion.

Le point d'appui que le corps trouve sur l'eau dépend de l'inertie des molécules du liquide, il est d'autant plus grand que les mouvements sont plus énergiques et plus vifs. La période active est suivie de la période où l'on reprend la position de départ.

Alors au contraire, la flexion des cuisses doit être lente si l'on ne veut pas reculer. Malgré cela cette flexion est toujours

accompagnée d'un léger recul du corps. Ce recul s'explique par le déplacement du centre de gravité provenant du changement d'attitude.

Il est sensiblement égal à la valeur de ce déplacement comme dans la suspension du saut.

La vitesse de progression du corps dans un courant d'eau et dans la direction de ce courant est égale à la vitesse que le corps aurait dans l'eau stagnante augmentée de celle du courant. En remontant le courant l'inverse se produit.

Si l'on traverse une rivière obliquement au courant, le mouvement du nageur est indépendant de celui du courant ; ce dernier avance dans une direction par ses efforts personnels et

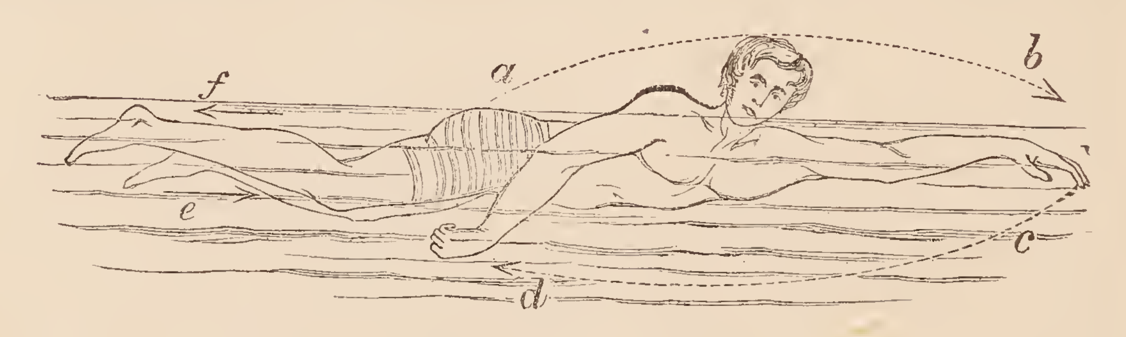


Fig. 514. — Natation sur le côté (Pettigrew).

en même temps est porté dans la direction du courant. Il se trouve au bout d'un certain temps en un point déterminé par les compositions de ces deux vitesses.

Le praticien connaît toutes ces influences ; il présente obliquement sa poitrine au courant qu'il remonte afin de lui opposer le moins de surface possible ; il sait que jamais il n'aborde au point qu'il désire s'il s'y dirige directement ; il sait aussi que pour changer sa direction il doit faire dominer l'action des membres opposés à cette direction.

En mer la natation est facilitée par la densité de l'eau, densité qui dépasse souvent la moyenne de celle du corps.

Les ondes étendues ne gênent en rien la progression car elles ne produisent que des mouvements d'élévation et d'abaissement qui en sont indépendants. Mais il n'en est plus de même des vagues qui déferlent sous l'influence du vent.

Les qualités du nageur et du plongeur sont toutes inhérentes à la coordination dans les mouvements surtout dans les mouvements respiratoires, à la faculté qu'il a de retenir longtemps

sa respiration et de supporter l'influence du froid. Il y a à cet

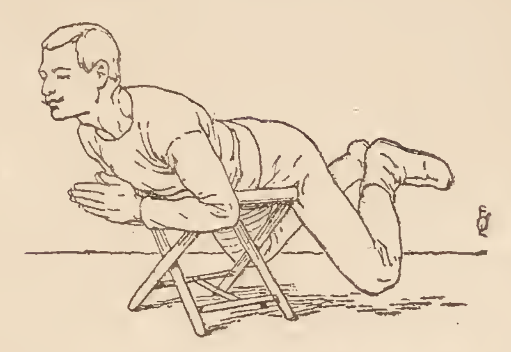


Fig. 515. — Exercices de natation sur le chevalet.
Premier temps : flexion des bras et des jambes

égard des différences individuelles innées et acquises par l'éducation.

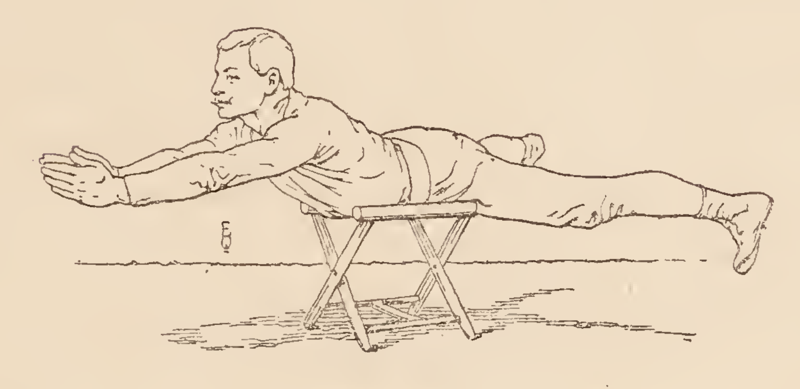


Fig. 516.
Deuxième temps ; extension des bras et des jambes écartées.

Tous devraient savoir nager ; pour apprendre il n'y a pas deux moyens, c'est d'essayer prudemment d'abord, puis de

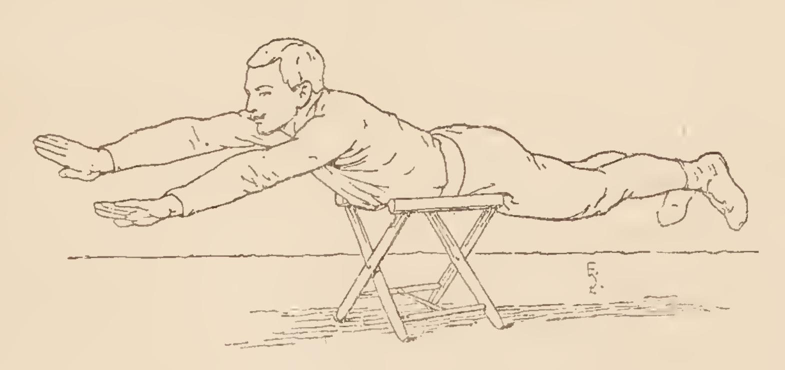


Fig. 517.
Troisième temps : rapprochement des cuisses et écartement des bras.

pratiquer souvent, toujours accompagné d'un aide. On a conseillé de s'exercer à nager sur un tabouret (fig. 515, 516 et 517).

Cela vous donne évidemment idée de la coïncidence des mouvements des bras et des jambes mais ne donne pas la sen-

sation spéciale d'être porté par l'eau. On fait sur le tabouret un exercice gymnastique très violent mais les contractions musculaires ne sont pas du tout celles que l'on doit faire dans l'eau.

Les extenseurs de la colonne vertébrale fortement contractés sur le tabouret se relâchent presque à cause de la poussée de l'eau et les contractions des bras et des jambes sont toutes différentes. En un mot l'exercice est si différent de la natation qu'il serait impossible de se débrouiller en tombant à l'eau pourvu d'une instruction sur le tabouret dite natation à sec. La sensation de l'eau, la suffocation qui en résulte, les gorgées que l'on avale, les mouvements de l'eau qui vous porte, les crampes sont autant de choses nouvelles à ressentir et à connaître pour se familiariser avec le nouveau milieu.

La natation est un exercice gymnastique excellent à tous points de vue, l'attitude est très bonne et exige l'extension et le redressement de la tête, les mouvements sont étendus et symétriques, les contractions musculaires sont réparties sur la totalité du corps. La respiration est très active, l'eau nettoie la peau et l'excite par sa température. Les exercices de natation sont de véritables jeux, ils ont tout l'attrait d'un sport. On peut dans l'eau faire toutes sortes de culbutes et de plongeons. Il serait bon d'apprendre à nager avec ses vêtements et de savoir porter secours à une personne qui se noie. Aussi dans les grandes villes faut-il multiplier les piscines de natation. L'essai en a été fait à Paris avec les élèves des écoles primaires en 1894 Sur 1 279 élèves, 1 234 savaient nager au bout de 16 leçons et traverser la piscine en tous sens ; 670 plongeaient ou sautaient au grand bain ayant 3 mètres de profondeur ; 432 se livraient à des exercices de sauvetage, allaient chercher à 3 mètres de profondeur une assiette ou un poids de 5 kilogrammes.

Ces résultats sont encourageants et devraient être imités partout.

Canotage. — Dans la progression en canot, la force musculaire motrice s'exerce par l'intermédiaire d'avirons ou de palettes qui offrent sur l'eau un point d'appui suffisant pour communiquer à la masse totale, canot et canotier, une vitesse dans un sens déterminé.

La force motrice est intermittente et tout le travail musculaire n'est pas utilisé.

Dans la position initiale, les bras sont allongés horizontalement, le tronc est fléchi de façon à porter l'extrémité de la poignée de l'aviron le plus en avant possible. Les canots perfectionnés ont des bancs à coulisses qui permettent de fléchir les jambes et le tronc au maximum. Dans la période active, le tronc se redresse, les jambes s'étendent en prenant point d'appui sur le fond du canot ; les bras se fléchissent lorsque le tronc est tota-

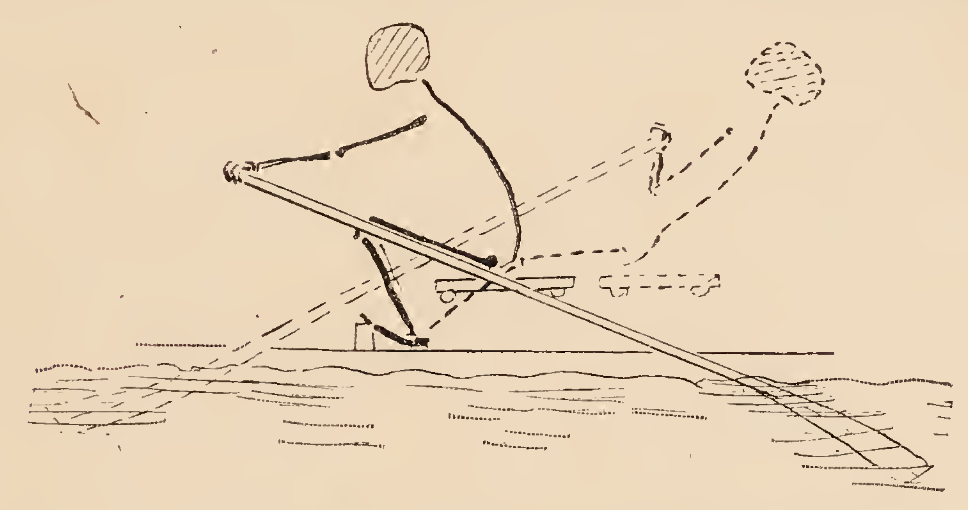


Fig. 518. — Les deux positions extrêmes du rameur dans le coup d'aviron.

lement étendu. L'extrémité de l'aviron plongé dans l'eau décrit un arc de cercle autour de son point d'appui ; sa face plane, d'abord dirigée en avant, s'incline peu à peu jusqu'à l'horizontale par une flexion progressive des poignets qui produit la rotation de l'aviron autour de son axe. Les couches d'eau rencontrées par la face antérieure de l'aviron offrent à son mouvement une résistance qui dépend de leur masse, de la facilité de leur écoulement et de la vitesse communiquée à l'aviron. Elles réagissent sur celui-ci et de là sur la masse totale du canot qui prend une vitesse contraire telle qu'il y ait égale répartition entre la quantité de mouvement de sa masse et de celle de l'ensemble de toutes les molécules d'eau déplacées.

Dans la période inactive ou de préparation, le corps reprend l'attitude initiale ; les avirons reviennent d'avant en arrière en effleurant la surface de l'eau et replongent à la fin de leur course perpendiculairement à cette surface (fig. 518).

L'axe du canot prend une direction qui est celle de la résultante des vitesses communiquées par l'eau et l'air d'une part et

par l'action des avirons et du gouvernail de l'autre. Ainsi se comprennent les changements de direction à droite ou à gauche, les virages, suivant que l'on fait prédominer l'action de l'aviron de gauche ou celle de l'aviron de droite.

Le canotage et la natation sont d'excellents exercices musculaires ; ils répondent au but hygénique et social de la gymnastique. La natation met en jeu les adducteurs des membres et du tronc, elle exalte la fonction respiratoire; le canotage exerce les muscles abdominaux et les muscles postérieurs du dos sollicités dans les tractions horizontales d'avant en arrière faites sur les avirons.

Le canotage à la godille et à la voile, l'exercice de la périssoire sont un peu moins gymnastiques, mais ils présentent tous les avantages des exercices musculaires à l'air libre et privé des poussières inévitables sur les routes. La natation et le canotage sont deux sports complets d'ailleurs inséparables.

Glisser. — Le *Glisser* est un mode de progression qui utilise la propriété des surfaces polies telles que le sol recouvert d'une couche de glace.

La diminution des frottements entre les surfaces de contact entraîne la diminution des résistances passives. La vitesse communiquée au corps dans une course préalable peut ainsi être conservée pendant un temps plus ou moins long, un espace considérable peut être parcouru au moyen d'un seul élan initial sans que le corps quitte terre.

Si le sol est horizontal, il est nécessaire, pour prendre son élan, d'avoir une partie solide et rugueuse. A l'arrivée sur la surface polie, les jambes cessent leur impulsion, demeurent tendues jointes ou écartées, les deux pieds sont à l'appui et le corps progresse avec la vitesse initiale qui va constamment en décroissant.

Sur un sol incliné, si l'on part du point le plus élevé, la pesanteur seule suffit pour communiquer au corps un mouvement accéléré. Ce mouvement tend à s'uniformiser lorsque les résistances dues au frottement et à l'air augmentent.

La difficulté de la glissade consiste à maintenir son équilibre. On y parvient en laissant aux articulations du tronc et des membres inférieurs une grande souplesse, en atténuant ainsi l'effet des chocs dus aux inégalités du terrain.

En tous cas le mouvement du centre de gravité ne dépend que de la vitesse initiale, de l'action de la pesanteur et des frottements de la chaussure. L'adresse est d'éviter les chutes ou d'en atténuer les effets lorsqu'elles ont lieu.

Patiner. — L'art du *Patinage* est plus complexe ; il faut en patinant entretenir la vitesse de progression en prenant point

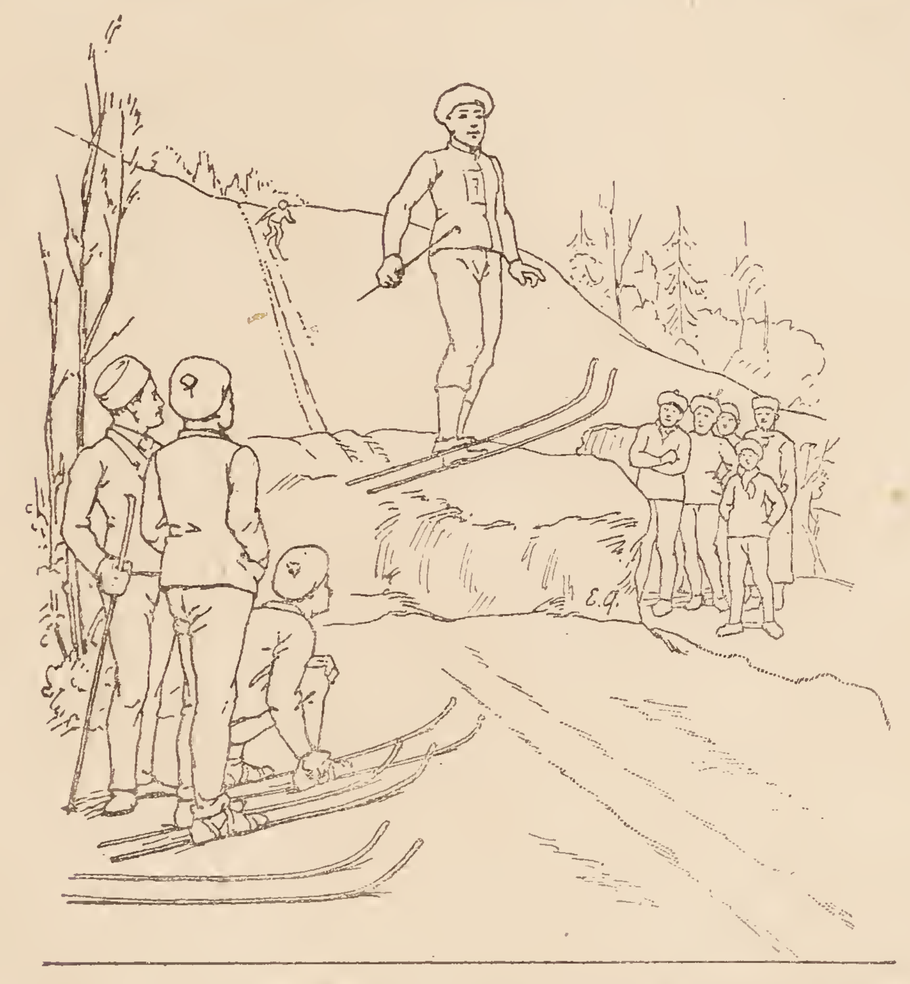


Fig. 519. — Sport norwégien : le saut au moyen des shidas.

d'appui sur la glace elle-même et varier la direction de cette vitesse à son gré.

On y réussit en armant le pied de patins, c'est-à-dire de lames d'acier présentant des surfaces planes verticales dirigées dans la direction de l'axe du pied. Ces lames pénètrent dans la glace et permettent aux membres inférieurs de prendre point d'appui sur le sol ; suivant la direction qu'on leur imprime, le sens de la progression peut varier à l'infini.

Entre deux impulsions successives, le corps glisse sur le sol en vertu de sa vitesse acquise, le pas devient ainsi très long et le rythme de l'allure très lent. Mais l'équilibre est assez diffi-

cile et, pour bien patiner, une éducation spéciale est nécessaire.

Il faut visiter les pays du Nord pour voir pratiquer dans tout leur développement les sports sur la glace. En Suède et en Russie il serait honteux de ne pas savoir patiner. Le patinage sur la neige se fait au moyen de schidas ou patins de grande longueur. Armés de ces schidas on voit des jeunes gens descendre avec une vitesse vertigineuse la pente d'une montagne et, ainsi lancés, franchir une crevasse ou un fossé par un bond qui peut avoir 20 mètres de longueur (fig. 519).

Dans les écoles de Suède chaque élève possède un petit traîneau sur lequel il se couche. Pour progresser il se pousse avec le pied contre la neige et se dirige ainsi comme avec un gouvernail.

Le patinage et le traîneau à voile sont encore des sports usités et présentant tous les attraits de la vitesse et du danger [1].

Equitation. — L'équitation consiste à monter un cheval, suivant les lois de sa locomotion, en lui imposant sa volonté. L'équitation peut être envisagée sous trois aspects :

Elle est, pour le cavalier, une *gymnastique* passive et active tout à la fois. Une gymnastique passive, car l'homme à cheval subit tous les mouvements et réactions de sa monture ; une gymnastique active car, pour assurer sa stabilité, il réagit par des actes musculaires et par des attitudes qui le lient au cheval dans tous ses mouvements.

L'équitation demande la connaissance des allures du cheval et celle du mécanisme de sa locomotion, pour ne jamais contrarier celle-ci. Elle touche donc à la *science* de ce côté.

Elle devient un *art* dans l'application, parce que le cavalier doit, pour bien jouer du cheval, avoir acquis le tact, l'à-propos, le sentiment équestre sans lequel homme et monture ne sauraient former un tout harmonieux.

La connaissance du cheval, en temps qu'animal indépendant, capable de volonté et de sentiment, ne s'acquiert que par l'expérience et est en rapport avec l'intelligence même du cavalier.

La connaissance des réactions du cheval dans toutes ses allures est encore à déterminer expérimentalement ; c'est d'elle

1. Commandant Lefébure, *L'Éducation physique en Suède.*

que dépendra naturellement la connaissance exacte des réactions nécessaires du cavalier.

Nous ne voulons pas nous étendre sur un sujet aussi complexe et pour lequel nous ne sommes pas encore préparé. Disons vaguement que la station à cheval exige surtout le secours des adducteurs des cuisses ; que la stabilité est en rapport avec la longueur du fémur ; qu'il y a avantage à ce que les genoux serrent le cheval au-dessous du plus grand diamètre horizontal d'une section du cheval, qui passerait par les condyles du cavalier. De plus, une grande indépendance dans les mouvements, une grande souplesse sont nécessaires ; tous les muscles du tronc sont tour à tour sollicités.

On sait que la pratique du cheval est généralement salutaire au point de vue hygiénique, mais que, exercée avec abus dans la première jeunesse, elle arque les fémurs. D'autres inconvénients provenant de la friction des organes génitaux contre la selle peuvent aussi être à redouter.

Vélocipédie. — La vélocipédie a pris une telle extension depuis quelque temps qu'elle est entrée dans la pratique de la vie. Ceux qui ont connu les premiers bicycles et les tricycles à grandes roues ont assisté à l'évolution d'une industrie des plus curieuses.

Il faut considérer le vélocipède à deux points de vue bien distincts :

Comme machine locomotrice et comme appareil de gymnastique.

Le vélocipède est avant tout un appareil locomoteur surajouté à l'homme, il porte le poids du corps, multiplie sa vitesse, économise son travail en transformant l'action périodique de son pas en un mouvement continu de roulement ; de plus, il se gouverne sur route comme un bateau.

Il y a trois grands avantages à progresser en vélocipédie :

1° D'être assis sur une selle reliée élastiquement au bâti de la machine et de soulager par cela même les jambes en supprimant leur effort constant de soutien.

2° De transformer l'action impulsive périodique des membres inférieurs en une action continue et d'utiliser au mieux l'action musculaire.

3° D'uniformiser la trajectoire du centre de gravité du corps en rendant le mouvement de progression presque rectiligne et uniforme et d'annuler ainsi les pertes de travail dues aux variations de direction et de vitesse du corps.

Ce dernier s'appuie sur le guidon, sur la selle et sur les pédales et la charge en ces points se répartit différemment suivant les cas et suivant l'attitude. Dans les grands efforts de démarrage, on exerce à la fois une traction sur le guidon et une poussée sur les pédales, on pèse peu sur la selle; dans la marche régulière on s'appuie sur la selle et le guidon, le corps penché en avant.

La charge des roues est alors différente, le centre de gravité de la machine passe en arrière de la moitié de la ligne des contacts des roues sur le sol, la charge est ainsi répartie pour un sujet de 64 kilogrammes et une machine de 21 kilogrammes : 29 kilogrammes pour la roue d'avant, 56 kilogrammes sur la roue d'arrière.

Dans l'attitude inclinée en avant, ces valeurs deviennent 36 kilogrammes et 49 kilogrammes.

Les pieds poussent sur les manivelles et la longueur de celles-ci détermine l'angle dont se fléchissent les jambes et les cuisses. Il y aurait à étudier, comme pour la marche, les variations d'allongement et les positions limites du rayon du membre inférieur pendant l'impulsion.

De grandes manivelles demandent un effort moins grand, mais une course plus étendue, il y a un juste milieu à tenir.

Il en est de même de la multiplication par les roues d'engrenage.

L'espace parcouru à chaque coup de pédale est égal à la circonférence de la roue motrice multipliée par le rapport de la roue dentée au pignon. Plus cette valeur $2 \pi R \times \frac{r}{r'}$ est grande, plus l'effort sur la pédale doit être considérable et plus le rythme devient lent.

La vitesse de progression c'est la valeur $2 \pi R \times \frac{r}{r'}$, que l'on pourrait appeler le pas, multipliée par la cadence ou le nombre de coups de manivelle à la minute.

Le rythme et la longueur du pas ne sont pas liés par une loi comme dans la marche; le pas est constant pour toute allure,

et dépend de la construction de la machine. Mais pour chacun il y a une cadence et un effort avantageux obtenus par une multiplication et une longueur de manivelle convenables.

L'action du pied sur la pédale commence lorsque le rayon du membre actif ne passe plus par l'axe des manivelles. L'effort est mal utilisé au début, la composante utile est maximum quand le rayon du membre devient perpendiculaire à la manivelle et décroit ensuite jusqu'au moment où la pression s'exerce dans son prolongement.

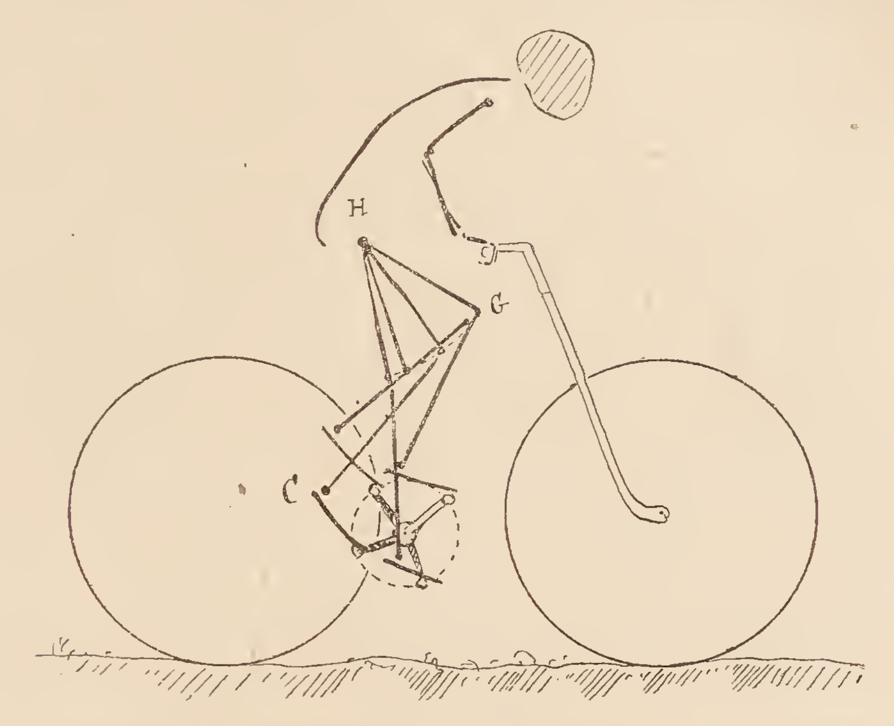


Fig. 520. — Mouvements de la jambe dans le vélocipède.
H. hanche ; — G, genou ; — C, cheville.

En réalité l'action du pied dure plus d'un demi-tour de manivelle, parce que l'effort de la jambe est complexe. Cet effort n'est pas seulement produit par l'extension de la jambe et de la cuisse mais par un mouvement d'extension du pied joint à un effort de flexion de la jambe (fig. 520).

L'attitude du vélocipédiste sur sa selle et la position de la selle plus ou moins en arrière des manivelles influe beaucoup sur cette durée de l'effort.

Pendant la phase suivante qui devient la phase active de l'autre pied, la manivelle remonte soulevant le poids de la jambe il est bon d'alléger autant que possible ce poids en fléchissant le membre inférieur.

C'est dans la période de remontée de la manivelle que l'on

peut résister à l'accélération de la machine dans les rampes.

Le vélocipède en mouvement se comporte comme un gyroscope dont le plan de rotation tend à demeurer constant. Il faut, pour faire dévier les roues de ce plan de rotation, une force extérieure d'autant plus grande que la vitesse de rotation est plus considérable.

La stabilité de la machine en équilibre sous l'action de son poids et de la force centrifuge augmente donc avec la vitesse si le sol est assez rugueux pour éviter le dérapement. C'est là le seul danger de chute, et sur un terrain glissant la machine n'est plus guère pratique.

La masse du corps agit avec celle de l'instrument pour former volant. Une fois acquise la vitesse tend à se conserver grâce à l'inertie de cette masse et à rester uniforme. Il y a bien, surtout au début, des variations de vitesse à chaque coup de pédale, mais bientôt le mouvement se régularise et devient très sensiblement uniforme.

S'il y a des variations dans la vitesse, la machine et le corps y participent, car ils sont solidaires et ce n'est pas quelques grammes de plus ou de moins qui influeront sur le travail produit. Les machines légères n'offrent d'avantages que dans les côtes et surtout lorsqu'on les transporte à la main. Il y a la un préjugé fortement exploité et qui n'a pas de raison d'être.

La piste suivie par la roue motrice du vélocipède n'est jamais une ligne droite, c'est une ligne ondulée de la nature des sinusoïdes; elle est d'autant plus tendue que la vitesse est plus grande.

Un bon vélocipédiste marche presque droit, mais cependant le plan de la roue motrice décrit toujours de petits angles à droite et à gauche du plan de progression.

Dans les virages, plus la vitesse et la courbure sont grandes, plus l'appareil s'incline pour conserver son équilibre, la limite d'inclinaison est donnée sur un plan horizontal par le frottement au contact du sol. Aussi pour reculer cette limite donne-t-on aux pistes vélocipédiques une inclinaison telle que le plan des roues (fig. 521) reste à peu près normal au chemin.

Dans ces courbes la roue motrice décrivant une circonférence, l'autre roue décrit une circonférence concentrique intérieure à la première.

Sur un terrain plan et horizontal le vélocipède utilise au mieux l'impulsion discontinue des membres inférieurs. La trajectoire du centre de gravité du corps n'est plus comme dans la marche et la course une ligne sinueuse, elle devient rectiligne et le mouvement uniforme, parce que jamais la jambe n'a d'action retardatrice.

La marche est une suite d'ascensions et de descentes avec perte de force vive à chaque pas, la progression en vélocipède est assimilable au mouvement d'un bateau sans réactions sensibles et utilisant presque toute la force motrice.

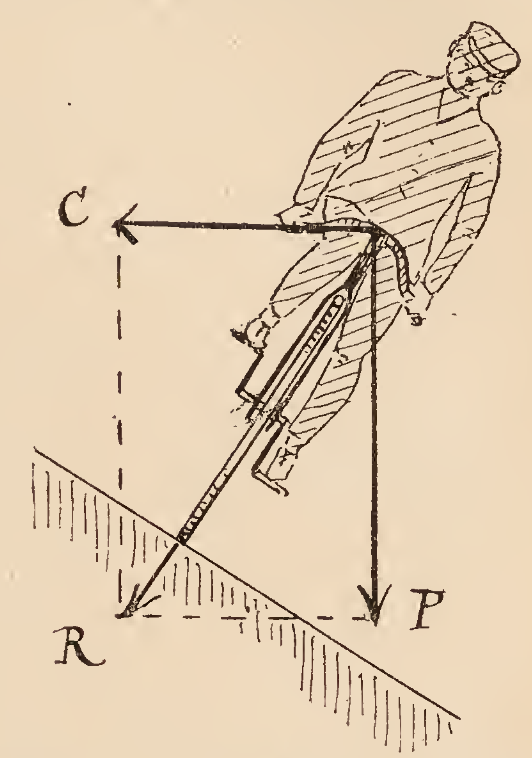


Fig. 521. — Inclinaison du vélocipède sur une piste circulaire.

Équilibre entre la pesanteur P et la force centrifuge C ayant une résultante R normale à la piste.

Si la route présente des sinuosités, mais conserve une ligne moyenne horizontale on se rapprocherait assez des conditions de la course; encore ici le surcroît de travail imposé par les parties ascendantes serait compensé par les descentes (fig. 365).

Si la route est descendante, le poids du corps aura une action accélératrice constante; si elle est ascendante, une action retardatrice. La machine devient défavorable dans ce cas et il est moins pénible de marcher que de gravir une côte un peu rapide en vélocipède. Il en est de même si on a le vent debout ou sur terrain meuble.

On remédie aux légères aspérités de la route au moyen de jantes en caoutchouc gonflées d'air, on économise ainsi une grande partie des pertes de travail absorbées par l'ornière. Ce n'est plus alors le terrain qui se déforme c'est la jante elle-même; une pierrre rencontrée par celle-ci y creuse son empreinte et s'y loge. Cette déformation est momentanée et le travail absorbé n'est pas perdu; il s'emmagasine sous forme d'air comprimé et se restitue ensuite en partie. C'est là le grand avantage des jantes pneumatiques. Elles ont plutôt pour effet

de diminuer les résistances passives du roulement que de servir de ressorts de suspension.

Le tricycle a l'avantage de se tenir debout immobile ou à des vitesses lentes où la bicyclette chavirerait; il est commode pour le transport de petits bagages, mais il présente d'autres inconvénients qui l'ont presque fait abandonner. Il est encombrant, ne passe pas partout, est difficile à manier, beaucoup plus dangereux que la bicyclette dans les vitesses un peu fortes et surtout dans les virages.

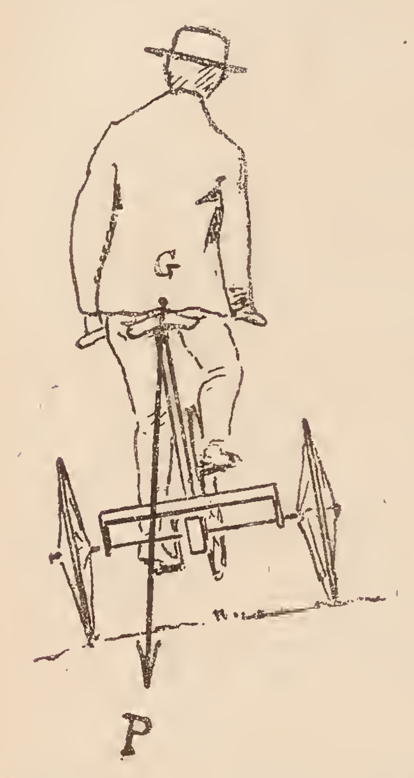


Fig. 522. — Attitude prise par le vélocipédiste.

Sur un tricycle roulant sur une route en dos d'âne, le poids P du corps tend à faire chavirer la machine.

Il est influencé par les différences de niveau du terrain dans le sens de la progression et dans le sens latéral. La selle amplifie encore ces sinuosités et celui qui y est assis est secoué de la belle façon s'il ne conserve pas une souplesse suffisante. Dans les routes en dos d'âne on a beaucoup de peine à conserver son équilibre (fig. 522), lorsque l'axe des roues motrices se penche suivant l'inclinaison du terrain. Ceci n'a jamais lieu avec la bicyclette influencée seulement par les sinuosités dans la direction du chemin parcouru.

Les virages sur le tricycle doivent être faits avec la plus grande prudence, la machine ne pouvant s'incliner dans la direction du centre de rotation tend à se soulever sur deux roues et à renverser le vélocipédiste en dehors de la courbe si ce dernier ne se penche fortement dans la direction inverse (fig. 523). On arrive cependant à être très habile sur le tricycle, mais cela demande une attention constante, il est impossible de mener un tricycle comme on mène une bicyclette et inversement.

Si nous considérons maintenant le sport vélocipédique au point de vue de l'hygiène, nous y trouvons les avantages et les inconvénients que l'on rencontre dans tous les exercices spéciaux et dans les exercices violents.

Autant l'usage du vélocipède est intéressant s'il est modéré et sagement conduit, autant il est peu recommandable comme métier spécial, surtout si l'on s'y donne avec excès dans le jeune âge.

Dévorer l'espace sans effort, faire fi des distances et respirer l'air pur de la campagne, voilà de quoi griser la jeunesse.



Fig. 523. — Inclinaison du vélocipédiste dans un virage de tricycle.

L'homme d'étude, l'homme d'affaires peut en se transportant gratuitement à son travail prendre en même temps l'exercice dont il a tant besoin.

Le vélocipède lui crée une nouvelle vie, en épargnant son temps il peut connaître des contrées qu'il n'aurait jamais eu le courage de parcourir à la marche. Tous les bienfaits de l'exercice lui sont acquis : respiration active, transpiration salutaire, plaisir de la liberté et satisfaction morale. Il rentre chez lui avec une dose salutaire de travail musculaire, jouit d'un bon appétit, de la gaîté et du sommeil.

Le vélocipède est un grand brûleur des matériaux de réserve, arthritiques gras ou maigres s'en trouveront bien.

Mais toutes ces qualités disparaissent si l'on cherche l'excès de la vitesse en poussant la dépense au delà des forces ; il y a

une mesure bien difficile à garder et une limite que les sages eux-mêmes sont tentés de franchir.

Abus du vélocipède. — L'abus du vélocipède est à condamner. La fatigue du genou, les trépidations sèches et continues qui ébranlent la moelle et le cerveau ont des inconvénients sérieux. Les moindres sont d'engourdir les mains et les pieds au point d'atténuer la sensibilité locale. Les trépidations qui proviennent du siège sont plus gênantes, on ne peut faire vibrer d'une façon continue la colonne vertébrale sans exciter les centres nerveux ; il y a encore à perfectionner la selle et la suspension des machines. L'avenir est à celle qui atténuera le plus les trépidations sans pour cela diminuer la vitesse. Les jantes caoutchoutées sont insuffisantes pour cela ; sur une mauvaise route, il faudrait une suspension à ressort. Si la selle n'est pas très souple, si elle n'épouse pas la forme du corps, il en résulte des frottements inégaux sur les parties en contact avec irritation consécutive de la peau et des organes génitaux.

Un des plus graves dangers de l'exercice du vélocipède provient de la transpiration abondante qu'il procure. Si l'on est vêtu chaudement on sera bien vite couvert de sueur. Là n'est pas le danger, c'est de se refroidir ensuite. Dans la marche ou la course tous les muscles du corps entrent en jeu, les mouvements du tronc et des bras activent la circulation dans les régions supérieures du corps. A vélocipède les contractions sont localisées aux jambes. Les bras et le tronc peuvent être raidis, mais ils restent immobiles et sont frappés par les couches d'air froid avec la vitesse du vent relatif. Cela revient presque à se mettre en transpiration dans un courant d'air. Il en peut résulter de fréquents et graves refroidissements. Les névralgies, les ophthalmies dues aux corps étrangers pénétrant dans l'œil sont également à craindre.

Si l'on accepte l'exercice du vélocipède comme exercice gymnastique, c'est à la condition de ne pas s'adapter à la machine mais, au contraire, de régler celle-ci sur la forme du corps. Il faut y prendre une attitude normale et laisser aux coureurs de profession les positions grotesques des jockeys sur leurs chevaux.

Il vaudrait mieux voir disparaître le vélocipède plutôt que

de nuire ainsi à la bonne conformation des jeunes gens.

Il faudrait conseiller au vélocipédiste de se livrer à une gymnastique corrective remettant à leur place omoplate et thorax, leur redressant la colonne vertébrale, et développant un peu les bras et les épaules atrophiées.

Il y a un rapport intime entre la bonne attitude et le fonctionnement des organes essentiels à la vie, poumons, cœur et organes de la digestion.

Les médecins chargés du service de recrutement des volontaires aux États-Unis ont diagnostiqué des affections pulmonaires et cardiaques d'un genre spécial. Ces affections provenaient de l'habitude qu'avaient ces jeunes gens de se tenir en machine entièrement penchés en avant *comme s'ils avaient envie de manger leur guidon.*

Le préfet de police de Washington a rendu en conséquence un arrêt interdisant aux cyclistes de prendre *l'attitude d'un bouc prêt à se servir de ses cornes.*

Il est absolument inutile de reculer la selle à l'excès, d'abaisser le guidon et de se courber en avant pour l'atteindre. N'imitons pas le coureur, ce n'est pas un être normal, il cherche le maximum de vitesse pour toucher des primes d'argent, recherchons le maximum de santé. Pour les femmes, le vélocipède sera toujours un appareil peu recommandable, une machine à stérilité.

En résumé, le vélocipède utilise très favorablement pour progresser la force musculaire de l'homme : mais comme tout exercice spécial il est incomplet et insuffisant pour le développement harmonieux.

Il n'est bon que sous les réserves : que l'attitude soit correcte, la vitesse modérée, les excursions d'une durée raisonnable, la machine bien construite et adaptée à l'organisme, que les refroidissements et trépidations seront évités et atténués; que l'on fera des mouvements gymnastiques complémentaires correctifs de ses mauvaises attitudes.

Progression sur des échasses. — L'adjonction d'échasses au membre inférieur augmente la longueur de celui-ci et par conséquent la longueur du pas pour un même mouvement angulaire de la cuisse. Mais l'articulation du pied est inuti-

lisée et l'élasticité du tarse, le déroulement du métatarse sont sans fonction. Il en résulte dans la progression une gêne et une sècheresse qui diminuent les avantages que l'on semblerait gagner en augmentant artificiellement la longueur du pas. Les échasses ont l'avantage de surélever le corps au-dessus du sol, lorsque ce sol est boueux ou imprégné de matières impures ; elles sont usitées comme moyen de locomotion dans les terrains marécageux.

Progressions passives. — Dans les mouvements passifs, le sujet subit l'influence des variations de vitesse du véhicule qui l'entraîne. S'il réagit, c'est pour conserver une attitude déterminée, mais non pas pour modifier la vitesse du véhicule dont il n'est pas le maître et avec lequel il fait corps. C'est ainsi qu'agit la vectation en voiture, en bateau ou sur des appareils giratoires.

Le corps reçoit une partie des trépidations transmises des roues aux essieux et au caisson de la voiture par l'intermédiaire de ressorts qui en amortissent considérablement la sécheresse. Il tend à chaque instant à conserver la vitesse qu'il possède de sorte que si celle de la voiture vient tout à coup à varier en plus ou en moins, le corps semble lancé en sens contraire de l'accélération du véhicule et avec la différence des vitesses.

Les accidents de voiture sont la conséquence de ce fait. Le mal de mer lui-même est produit par les variations dans la vitesse des différentes parties du corps à tout moment. Les parties molles qui le composent sont en certains points comprimées et dilatées tour à tour; il en résulte un état anormal du système nerveux, état qui se traduit par le malaise connu. On sait en effet que le mal de mer est atténué dans l'attitude couchée ou bien encore si l'on occupe les parties du navire qui possèdent le minimum de variations de mouvement.

L'effet des appareils giratoires usités dans les fêtes populaires est analogue à ceux qui précèdent. La force centrifuge agit d'autant plus sur les parties du corps qu'elles sont plus excentriques. Dans le cas de tourniquets aux barres fixes, le sang se porte au cerveau ou l'abandonne suivant que la tête est dirigée ou non vers l'axe de rotation. Les impressions visuelles ne sont pas étrangères aux troubles nerveux généraux.

Depuis quelques années le développement excessif de la locomotion automobile a mis en évidence tous les inconvénients de la progression passive, les grandes vitesses acquises sont devenues la source d'accidents nombreux et de maladies spéciales. Cette folie de la vitesse n'a plus rien à voir avec l'amélioration physique de la race, bien au contraire et nous refusons à ce genre de locomotion le nom de sport vu que l'homme le plus chétif et le plus malingre est capable de s'y livrer sans faire d'efforts musculaires.

Escarpolette. Voltige a la suspension. — Lorsque l'homme est suspendu à un instrument oscillant, à une corde, à des poignées ou à une escarpolette, il forme, avec cet instrument, un ensemble qui n'est autre qu'un pendule oscillant autour de l'axe de suspension. Il ne peut modifier le mouvement du centre de gravité du système dont il fait partie si ce système n'est soumis qu'à l'action de forces intérieures. Dans le cas qui nous occupe, le système n'est pas libre, il est lié à un point fixe, et des frottements sont développés au point de suspension. Le système est en équilibre si le centre de gravité est verticalement situé au-dessous du point de suspension. Ceci a lieu si l'on n'exécute aucun mouvement. Mais, aussitôt que l'on change brusquement la position de ce centre de gravité, en changeant d'attitude, tout se passe comme si le pendule avait été écarté de sa position d'équilibre et une oscillation commence. On peut ensuite amplifier cette oscillation en exécutant des mouvements rythmés avec le balancement, mouvements qui ont pour but d'abaisser le centre de gravité dans la demi-oscillation descendante pour le relever dans la demi-oscillation ascendante. Ainsi, le pendule arrivé à l'extrémité de sa course augmente tout à coup de longueur, l'oscillation commence et, en passant par la verticale, le centre de gravité possède une vitesse telle que, si rien ne changeait, il remonterait en sens opposé à la même hauteur verticale (fig. 523 *bis*).

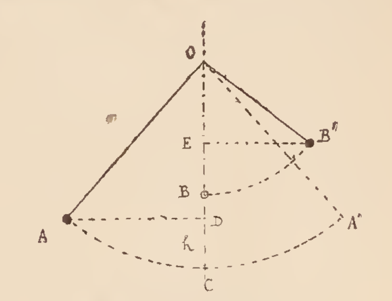


Fig. 523 *bis*.
Le pendule OA se raccourcit en passant par la verticale en OB et vient en OB' à cause de la vitesse due à la hauteur de chute CD = EB.

Mais il n'en est pas ainsi, le corps se redresse à ce moment ; le

centre de gravité s'élève, est obligé de décrire une trajectoire circulaire d'un rayon plus petit avec la vitesse qu'il a acquise, il remontera encore à la même hauteur verticale, c'est-à-dire que la projection du chemin parcouru sur la verticale sera le même. Cette condition exige que l'angle sous-tendu par l'arc décrit ou l'amplitude d'oscillation soit augmentée. En agissant de même pour la seconde oscillation, l'amplitude croîtra toujours et, si le pendule n'est pas rigide il ne dépassera guère 180°. Il se passe en réalité une tendance à l'uniformité des aires décrites par les rayons vecteurs. Si l'on abandonne le système pendant son mouvement, on choisira de préférence les moments où sa vitesse est nulle, c'est-à-dire les points extrêmes de son oscillation, on observera alors les règles de toute chute verticale, et l'on prendra les précautions indiquées plus loin dans la manière de quitter un appareil en mouvement.

Manière de quitter sans danger un appareil dont on possède la vitesse. — Deux précautions sont à prendre : pour abandonner l'appareil et pour assurer la chute. Il faut quitter totalement et d'un seul coup le véhicule qui vous portait de façon que l'on n'ait plus avec lui aucune liaison. C'est ainsi que l'on descendra de voiture soit à l'arrière soit sur le côté en se projetant latéralement (fig. 524).

Le corps abandonné à lui-même avec la vitesse horizontale de la voiture, soumis d'autre part à l'action de la pesanteur, décrit une parabole pendant sa suspension. Mais il peut tourner autour de son centre de gravité suivant la direction de l'impulsion dernière qui lui a été donnée. Il y a donc une attitude spéciale à prendre, car les pieds touchent les premiers le sol, ils perdent presque immédiatement leur vitesse, tandis que le mouvement du tronc continuant amène inévitablement une chute dans le sens de la progression.

Pour y parer, on fait agir le poids du tronc lui-même en l'inclinant en arrière ou en avant d'une quantité en rapport avec la vitesse à annuler et suivant que l'on descend dans le sens de la progression du véhicule ou bien en sens inverse (fig. 524).

La vitesse du tronc est ainsi annulée par son poids et le corps

demeure en équilibre sur le sol en station droite. Pour des raisons identiques, mais inverses, on peut passer sans inconvénient sur un véhicule en mouvement à la condition d'avoir acquis préalablement une vitesse égale à celle qu'il possède et dirigée dans le même sens. Le choc qui se produit ne dépend que de la différence des vitesses du corps et du véhicule (fig. 524).

Chutes après des balancements. — Les chutes qui terminent les divers mouvements usités aux appareils d'appui et de suspension seraient à étudier; nous n'en dirons qu'un mot. Elles dépendent toutes de la direction et de la grandeur de la vitesse

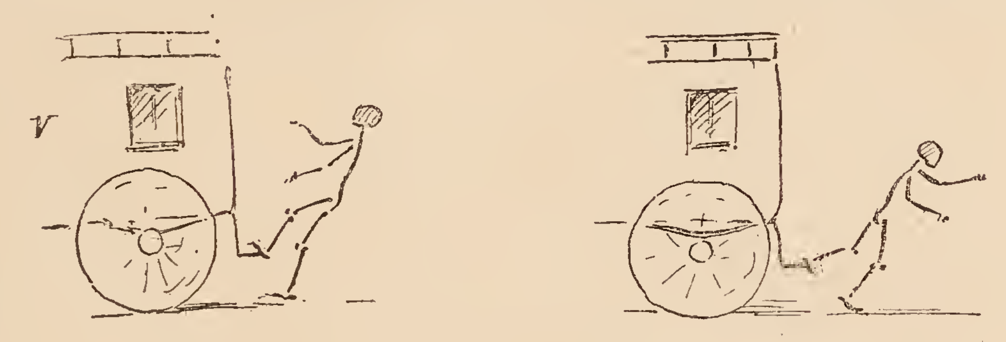


Fig. 524. — Attitude d'un sujet descendant d'une voiture face en avant et face en arrière. Coureur s'apprêtant à monter dans une voiture.

que possède le centre de gravité du corps pendant la suspension, ainsi que de la position relative de ce centre de gravité et du point qui vient le premier au contact avec le sol ; c'est-à-dire de l'attitude au moment de la chute.

Le rôle des bras est très actif ; il règle le mouvement de rotation autour du centre de gravité, l'accélère ou le retarde. La vitesse angulaire de ces rotations varie avec la distance des centres de gravité des membres au centre de gravité du système et suit la loi des aires. Par exemple, si pendant la suspension d'un saut périlleux, le sauteur se groupe, on voit immédiatement augmenter la vitesse angulaire de sa rotation (fig. 476).

C'est par ce même mécanisme que la chute peut être assurée à la suite d'une éducation spéciale qui développe dans le sens musculaire une grande délicatesse et dans les mouvements une parfaite coordination.

Les chutes qui suivent les balancements à l'appui ou à la suspension dépendent surtout de la manière avec laquelle on a

quitté l'obstacle fixe où l'on avait ses points d'appui, car on est maître de la direction de sa vitesse et de la rotation autour du centre de gravité tant que l'on a avec l'instrument un point de contact (fig. 525).

La chute après un balancement à la suspension est particulièrement difficile, la vitesse du tronc est inférieure à celle des jambes et la chute sur le dos est à redouter. La difficulté est moins grande après un balancement à l'appui; l'action des

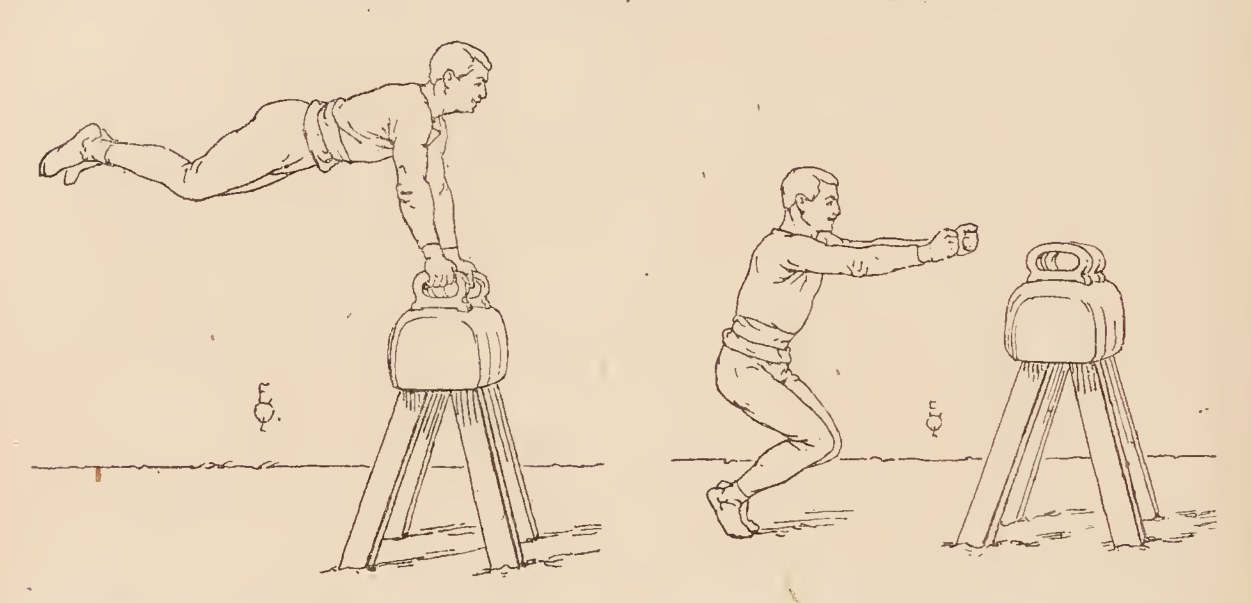


Fig. 525. — Saut en arrière avec l'aide des mains et chute après balancement.

bras est moins gênée; elle peut être employée à repousser vigoureusement le tronc loin de l'appareil et à lui communiquer une vitesse à peu près égale à celle des membres inférieurs de façon à éviter une rotation fâcheuse. Étant en l'air il est d'ailleurs possible de se retourner comme le chat qui retombe toujours sur ses pattes.

La danse, ses propriétés gymnastiques. — On reviendra avec raison à la danse antique où les mouvements sont larges et expressifs. Dans nos danses actuelles le mouvement est réduit au minimum; elles se font presque sur place et sont étriquées par la petitesse de nos salons. Elles ne présentent évidemment rien de gymnastique, mais si l'on y ajoutait les attitudes et les mouvements du tronc et des bras, il y aurait grand profit à en tirer.

Les anciens dansaient à toutes occasions, dans toutes les circonstances importantes de la vie. Il y avait grande différence entre les danses guerrières et les danses religieuses, toutes

avaient un caractère expressif et mimaient une scène déterminée. Le danseur était en même temps un improvisateur et souvent un musicien.

M. Maurice Emmanuel[1] a fait la comparaison des danses anciennes avec notre chorégraphie actuelle au moyen de docu-



Fig. 526. — Attitudes prises dans la danse grecque ancienne ayant un caractère éminemment gymnastique (MAURICE EMMANUEL).

ments pris sur les vases grecs. Il est arrivé à montrer l'indépendance du danseur grec qui n'était pas astreint à des mou-



Fig. 527. — Attitudes de la danse grecque joignant à l'élégance les qualités d'un exercice gymnastique (d'après MAURICE EMMANUEL).

vement réglés à l'avance mais les composait comme une réplique suivant les gestes de ses partenaires.

Il y avait là expression du geste et en même temps amplitude des mouvements (fig. 526). Quelques poses étaient même tout à fait gymnastiques et gracieuses (fig. 527). Cette manière de concevoir la danse la rend bien supérieure à notre

1. Maurice Emmanuel, *La Danse grecque ;* Paris, Hachette.

danse de théâtre qui, devenue acrobatique et conventionnelle, n'est plus pratiquée que par les professionnels. Il faut vingt ans pour faire un danseur de théâtre.

Exercices préparatoires aux danses chorégraphiques. — Ces études préparatoires si longues ont surtout pour but d'obtenir une véritable dislocation de l'articulation de la hanche, de se rompre

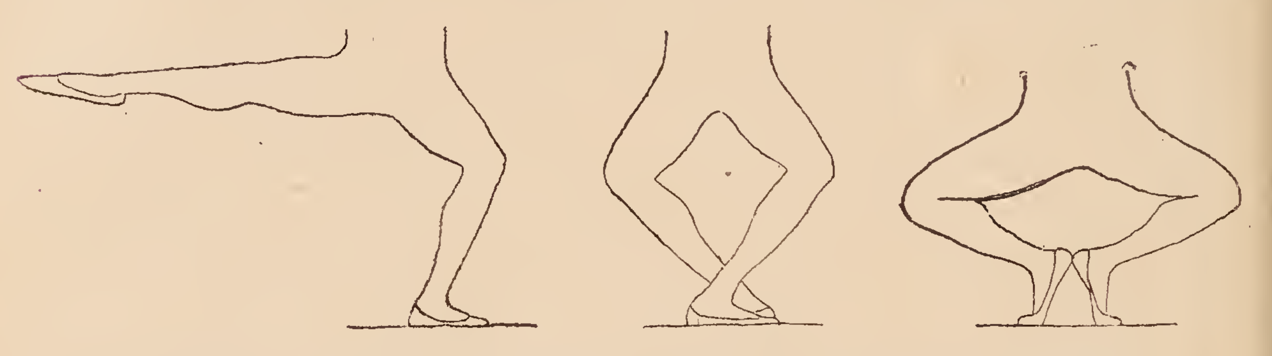


Fig. 528. — Exercices chorégraphiques préparatoires à la danse.

à la locomotion anormale sur la pointe des pieds, ce qui n'a rien de beau et enlève toute expression au geste du danseur devenu ainsi un véritable mannequin (fig. 528 et 529).



Fig. 529. — Danseuse reposant sur la pointe des pieds.

Il y aurait à puiser beaucoup dans les exercices chorégraphiques. On peut très bien extraire de tous ces éléments ce qu'il y a de gymnastique et le faire exécuter comme danse avec accompagnement de musique. Celle-ci a une influence morale très grande, c'est un charmant excitant auquel peu savent résister. Cela vaudrait pour l'enfant et la jeune fille infiniment mieux qu'une leçon ennuyeuse commandée militairement et incapable de soutenir l'attention.

Les sociétés de gymnastique dans leurs séances publiques exécutent des combinaisons de mouvements rythmés avec l'ensemble d'un corps de ballet. Elles pourraient tirer grand profit de la danse mimée et la rendre tout à fait gymnastique, c'est-à-dire énergique et

répondant aux différents buts de l'éducation physique

C'est là peut-être la forme future des exercices méthodiques; il n'y a pas grand'chose à faire pour cela. Il faudrait que les artistes s'occupent de la question avec les physiologistes, mais avant tout il faut renoncer à la méthode militaire pour les enfants et les jeunes filles.

L'expérience a été faite par nous avec le plus grand succès dans l'École normale d'institutrices de la Seine où les élèves montraient peu de goût pour les exercices physiques exécutés sous la forme classique. Leur activité s'est réveillée avec les danses gymnastiques qu'elles ne se lassaient point de pratiquer.

Ces danses avaient un effet complet, elles contenaient des attitudes soutenues ayant un effet correctif, des mouvements du tronc et des bras et des pas sautés. Elles répondaient ainsi à l'hygiène et au développement du corps puisqu'on y trouvait l'effet général et l'effet local, c'est-à-dire la dépense en travail et la répartition salutaire des contractions musculaires[1].

Pour préparer aux exercices synthétiques, nous avons imaginé un système d'exercices gradués basés sur les principes du mouvement complet en étendue et en direction et sur l'indépendance des contractions musculaires.

Ces mouvements sont caractérisés par l'absence d'efforts statiques et par les trajectoires décrites dans l'espace par les extrémités des membres dans tous les plans et dans toutes les directions.

Ces mouvements sont le point de départ d'une méthode nouvelle incomparable pour obtenir la souplesse, la grâce et l'élégance.

La trajectoire décrite dans l'espace sert de point de départ, les contractions musculaires en sont la conséquence.

(Voir la note à la Société de Biologie, page 530, et G. Demeny *L'Art du Mouvement.*)

1. G. Demeny et Sandoz. *Recueil de danses gymnastiques.*

CHAPITRE VI

CONDITIONS ÉCONOMIQUES DE L'UTILISATION DE LA FORCE MUSCULAIRE

Lois et résultats. — Mesure du travail dans les cas simples.

Lois économiques. — Il n'est pas inutile de rappeler ici les règles générales de l'économie du travail qui dominent toutes les applications. Ces règles sont le corollaire de la loi du moindre effort. Celle-ci est la conséquence de l'inertie de la matière et de notre appréhension pour la douleur et la fatigue qui accompagnent tout effort. Trois conditions sont indispensables pour y satisfaire.

A. Il faut : l'économie dans l'intensité des contractions et dans la dépense d'excitation nerveuse.

B. L'économie dans la somme de travail en limitant les contractions aux muscles exclusivement nécessaires au mouvement voulu.

C. Une proportion convenable entre les temps d'activité et les temps de repos, c'est-à-dire un rythme ou cadence optimum.

Travail physiologique et travail mécanique. — Le travail produit par l'homme ne peut s'évaluer d'une façon absolue. Nous n'en pouvons constater que l'effet extérieur sous forme d'efforts musculaires et sous forme de mouvements ; mais ce n'est là qu'une partie de l'énergie produite et dépensée. Tout tissu vivant est capable d'un travail physiologique, dont nous ignorons la nature particulière mais dont nous connaissons souvent l'origine et la fin. Tout travail physiologique, dit M. Chauveau[1],

1. A. Chauveau, Du travail physiologique et de son équivalence, *Revue scientifique,* 1888.

a sa source et son dénouement obligés dans le monde extérieur. Nous puisons dans les aliments les matériaux du travail et finalement nous restituons à la nature ce que nous lui avons emprunté momentanément en mouvement et en chaleur.

En réalité nous ne créons rien, nous ne faisons que transformer de l'énergie latente ; rien ne se perd et tout doit se retrouver dans l'équation du travail.

Peu nous importe la nature du travail physiologique, le muscle crée-t-il de la chaleur et transforme-t-il une partie de cette chaleur en travail mécanique comme une machine thermique, ou bien la chaleur apparente est-elle seulement la fin, l'excrétion provenant du travail physiologique issu directement de combinaisons chimiques et passant par une forme intermédiaire et spéciale de l'énergie analogue à l'état électrique avant de devenir du travail mécanique.

Le muscle serait alors assimilable à une machine électrodynamique et non à une machine thermique. C'est ce que nous ignorons absolument. Nous constatons seulement qu'une certaine quantité de chaleur sensible disparaît quand apparaît une quantité équivalente de travail mécanique extérieur.

La chaleur sensible serait donc une conséquence du travail physiologique et mesurerait ce travail intérieur quand il n'y a pas mouvement.

Si ce travail est très intense le corps s'échauffe parce qu'il n'a pas le temps de se débarrasser de la grande quantité de chaleur produite en excès. D'ailleurs, peu nous importe l'équivalence du travail physiologique, il n'y a pour nous d'intéressant que l'effet utile extérieur.

Cependant nous ne pouvons pas raisonner sur la machine animale comme sur la machine ordinaire. Il y a des différences essentielles qui les séparent.

Pour un mécanicien, le travail d'une force agissant contre une résistance à vaincre se mesure par le produit de cette résistance par le chemin parcouru en sens contraire de la résistance et par son point d'application. Il faut un déplacement pour qu'il y ait travail. Une colonne supportant le poids d'une voûte ne travaille pas. Il n'en est pas de même de la machine animale si nous maintenons un poids immobile, nous nous fatiguons, nous ne pouvons longtemps produire cet effort statique, parce

que nous produisons du travail tout en restant immobile.

Dans une machine, si on élève au moyen de rouages quelconques 1 kilogramme à 10 mètres ou 10 kilogrammes à 1 mètre on aura produit le même travail, ce travail pourra être répété un certain nombre de fois de suite sous une forme quelconque, cela importe peu pour la machine.

Chez l'homme, il est tout différent de travailler en faisant de grands efforts ou en répétant fréquemment de petits efforts et nous verrons justement qu'il faut savoir combiner les degrés de contraction, d'amplitude du mouvement et de durée des efforts pour obtenir le rendement maximum en effet utile.

Il serait intéressant de pouvoir doser d'après ces principes le travail extérieur dépensé dans les différents exercices et métiers manuels afin de les comparer, d'en établir l'équivalence. L'idéal serait de proportionner ainsi le salaire de l'ouvrier à la fatigue produite, abstraction faite, bien entendu, de la valeur artistique du travail.

Au point de vue militaire ce dosage présenterait bien des avantages si l'on connaissait ce qu'on peut attendre d'une troupe comme fond et comme vitesse sans dépasser les forces humaines. La nourriture, l'élément primordial du travail pourrait être aussi mieux choisie et mieux administrée suivant la quantité d'énergie à produire.

Force et travail. — Nous avons déjà insisté sur la différence essentielle entre le rendement en travail et la force musculaire.

L'Hercule du Nord, dit Poncelet[1], tant vanté pour sa force prodigieuse n'eut probablement pas, dans un travail réellement utile et longtemps continué, pu soutenir le parallèle avec un de nos bons manouvriers ordinaires. Ainsi les coureurs rapides sont généralement peu capables sous d'autres rapports de rendre les services d'un homme moins agile, moins rapide, mais bons travailleurs.

Chacun est capable de produire une certaine quantié d'énergie extérieure. Le potentiel ou capacité d'énergie se mesure chez un sujet par le pouvoir qu'il a de faire de la chaleur et du travail, en considérant le travail dans son acception la plus générale.

1. Poncelet, *Cours de mécanique industrielle.*

Le travail peut se faire sous forme d'efforts musculaires, comme sous forme de travail moteur ou résistant, il peut se faire avec vitesse ou lentement; chez certains animaux l'énergie se manifeste sous forme électrique ou lumineuse; chez l'homme il peut consister simplement en travail cérébral, en manifestation de la pensée. Il n'en est pas moins vrai qu'il y a toujours dépense sous différentes formes correspondant à des organisations différentes. La capacité en travail dépend du rendement et surtout de la facilité avec laquelle on conserve l'élévation du potentiel, c'est-à-dire on peut créer de l'énergie au fur et à mesure de la dépense.

Le potentiel est en rapport avec l'activité des réactions et des échanges nutritifs, c'est-à-dire avec le travail physiologique.

On doit retrouver sous forme de combinaisons finales l'énergie qui disparaît et ne se manifeste pas extérieurement de sorte que le poids du corps varie de la différence entre son accroissement et sa dépense; cette variation est égale au poids des aliments ingérés diminué des excréments et de la déperdition due au travail musculaire et nerveux, à la chaleur, à l'électricité, aux vibrations sonores, aux combinaisons chimiques de toutes sortes se passant dans l'économie.

La vitalité de l'individu est liée aux phénomènes de la nutrition.

Échanges nutritifs faibles, vitalité languissante. Les cellules baignent dans le liquide nourricier mais ce n'est pas de la richesse de ce liquide que dépend la vitalité de la cellule, elle peut être inerte dans un milieu riche en aliments.

Pour augmenter la vitalité, il faut donc non seulement alimenter, mais aussi combattre l'inertie des cellules; il faut pour cela dépenser et provoquer les échanges nutritifs par la déperdition, modifier en un mot l'état chimique des liquides et des tissus en leur faisant produire du travail.

Un sujet affaibli chez lequel les échanges nutritifs sont peu intenses est comparable au vieillard, il lui faut de l'exercice, mais il ne bénéficiera de l'activité qu'il se donne que sous condition de ne pas dépenser plus qu'il ne peut réparer et de lui faire produire du travail sous une forme particulière convenable.

L'air, le travail, la lumière et l'aliment doivent agir simultanément et alterner avec le repos.

Il ne faut cependant pas s'arrêter dès que la réparation ne se fait plus intégralement mais persévérer dans l'effort volontaire car l'influence morale est pour beaucoup dans le résultat.

Il semble paradoxal de demander à un organisme affaibli, pour le fortifier, une dépense nouvelle croissant sans cesse. Cela s'explique par la propriété de réaction des tissus.

Exciter les organes, les centres nerveux en particulier, ce n'est pas augmenter la vitalité des tissus d'où dépendent le potentiel et l'amélioration réelle de l'individu.

L'augmentation de la nutrition, l'accroissement d'activité des échanges chimiques entre les aliments et les cellules vivantes, voilà le seul moyen d'augmenter la capacité en travail. Certains individus ont besoin d'une alimentation très riche pour produire bien peu de travail, la pauvreté de leur organisme ne leur fait utiliser qu'une très petite partie de leurs aliments.

Ils ne gagnent rien à fatiguer les éléments cellulaires en les excitant par des substances irritantes, les forçant à vivre trop vite. La conséquence de cette excitation sera le repos forcé et la vieillesse prématurée de ces éléments.

Les lois qui régissent le régime du travail et du repos sont celles de la réparation de la cellule vivante, ce n'est pas aux poisons qu'il faut demander une augmentation de rendement, mais à l'alimentation, au régime et à l'exercice seuls.

La sédentarité, les maladies par ralentissement de la nutrition, l'âge, diminuent le potentiel ; il en est de même des excès de dépense et de toutes les causes de fatigue.

Chez les nerveux comme chez les personnes qui s'excitent par les alcools, ce potentiel n'a pas une valeur constante, il est intermittent, de là des alternatives d'excitation et d'affaissement ; aussi lorsqu'il s'agit d'obtenir par l'exercice l'augmentation du potentiel, il faut tenir grand compte du coefficient individuel, sans cette précaution, le résultat peut être négatif.

La force de résistance consiste à ne pas subir l'influence des mauvaises conditions extérieures et dans la capacité de réagir constamment contre son milieu pour conserver son équilibre normal. Quand il s'agit d'utiliser l'énergie dont on est capable, il faut encore la dépenser sous une forme convenable à chaque organisation ; cette forme dépend de notre structure et de l'éducation ou de l'entraînement préalables.

Différentes formes de travail. — Le muscle travaille de trois façons : statiquement, c'est-à-dire en produisant un effort sans mouvement extérieur, en se raccourcissant et en se laissant étirer, c'est-à-dire en faisant du travail positif ou négatif.

Nous avons déjà parlé de ces différents modes de travail, mais il est utile d'y revenir si nous voulons préciser la notion de rendement de la machine humaine (Voy. *Les bases scientifiques de l'éducation physique*.)

Travail statique. — Dans le travail statique le muscle vibre, la fusion des secousses des différentes fibres produit le raccourcissement. Il faut déjà une certaine dépense d'énergie pour amener le muscle à un certain degré de tension même sans produire de travail extérieur. La tension élastique nécessaire à produire ce dernier demanderait d'après M. Chauveau huit fois plus de dépense en travail physiologique. Ainsi la force élastique du muscle depuis la force tonique jusqu'à l'effort statique est la conséquence du travail intérieur, c'est une transformation de l'énergie chimique et par suite une dépense.

Elle pourrait se mesurer par la valeur de cette force élastique évaluée en poids, et par le temps pendant lequel elle se maintient à un certain degré.

L'effort statique est donc un travail et même un travail pénible très fatigant car la circulation dans un muscle contracté et sans mouvement est mauvaise, insuffisante même pour entraîner les déchets produits dans le travail physiologique [1].

Travail moteur. — Le travail positif d'un muscle attelé à une résistance se mesure par l'effort multiplié par le chemin parcouru par son point d'application ; c'est la longueur dont on a déplacé la résistance en luttant contre elle, dans sa direction. C'est la définition du travail moteur. Le travail d'un muscle est proportionnel à son poids.

MM. Chauveau et Tissot ont reconnu que la dépense énergétique d'un muscle en travail et son degré de raccourcissement pendant ce travail sont dans les relations suivantes :

1° La dépense d'énergie est d'autant plus faible pour un même travail mécanique accompli, que le muscle est plus près de sa longueur maxima quand il se raccourcit pour travailler.

1. Note sur l'effort statique in *Ecole française*.

2° Les quantités d'oxygène absorbé et d'acide carbonique exhalé pour le soutien d'une charge, croissent avec le raccourcissement du muscle, la charge restant même constante.

3° L'oxygène absorbé et l'acide carbonique exhalé pour le soutien d'une charge croissent proportionnellement à l'augmentation de cette charge.

Travail résistant. — Le travail négatif est au contraire du travail résistant. Je tiens un poids lourd à la main, l'avant-bras fléchi, je laisse cet avant-bras s'étendre sous l'action du poids tout en résistant avec les muscles fléchisseurs, ces muscles s'allongent mais cependant ils travaillent, ils luttent contre le poids et empêchent la vitesse de s'accélérer. Le travail résistant est égal au travail moteur du poids si la vitesse de chute de ce dernier est uniforme, c'est encore la valeur de ce poids multipliée par le chemin parcouru dans la direction de l'action musculaire.

Le travail moteur du poids est alors égal au travail résistant des muscles.

Travail utile. — Si nous examinons un cas plus complexe, celui où l'homme est attelé à une résistance à vaincre consistant dans son propre poids, dans une charge ou un fardeau à mouvoir verticalement ou horizontalement, ce qui nous intéresse, c'est le travail utile produit, c'est la grandeur du fardeau et la hauteur à laquelle ce fardeau a été élevé. Quel que soit le chemin par lequel nous l'avons transporté peu importe, le travail mécanique utile se mesurera toujours par le produit du poids par la hauteur d'élévation.

Ceci est vrai si l'on fait abstraction des déperditions de travail par la déformation du corps et du terrain. Les muscles ne sont pas attelés directement au fardeau à soulever, nous avons vu combien l'obliquité des insertions musculaires était défavorable à leur action. Tous les efforts musculaires ne se font pas dans la direction de la résistance à vaincre, il n'en est employé qu'une certaine partie en effet utile, les autres servent à changer la position des bras, des jambes et du tronc pour ramener le corps dans l'attitude la plus favorable à l'action. Le sol s'écrase sous les pieds, il consomme du travail; la montée ne peut

se faire verticalement, il faut une inclinaison convenable du chemin, de là un travail perdu dans le transport horizontal mais cependant essentiel à l'utilisation de nos forces.

Nous avons déjà montré combien la descente et la montée diffèrent au point de vue de la fatigue et de l'essouflement produits (p. 271).

Production journalière de travail. — Des expériences faites par Vauban, Borda, Coulomb, il résulte qu'un homme peut en montant une rampe irrégulière sans aucune autre charge que son propre poids, produire une somme de travail évaluée à 205 kilogrammes élevés à 1 kilomètre ou 205 000 kilogrammètres.

Chez l'homme chargé, ces résultats diffèrent sensiblement. D'après Coulomb[1] ici apparaît l'influence de la manière d'exécuter le travail. Une charge trop lourde est incompatible avec le travail ; l'homme est écrasé par cette charge et il y a avantage à la diviser et à reprendre le travail en plusieurs fois.

Nous pouvons monter à 20 ou 30 mètres par un escalier à raison de 14 mètres par minute ; le poids moyen d'un homme estimé à 70 kilogrammes, on peut ainsi produire 980 kilogrammètres par minute. Mais cela ne peut durer longtemps.

Un homme ne peut monter plus de 6 voies de bois à 12 mètres de hauteur ; la voie étant de 734 kilogrammes. Ce travail peut s'effectuer en 11 voyages, 10 voyages pour les premières voies, 12 pour les dernières. Le poids à monter dans chaque voyage étant de 70 kilogrammes + 66 kilogrammes de bois, c'est-à-dire 138 kilogrammes élevés à 12 mètres et 66 fois total 109 000 kilogrammètres.

Un fort porteur a pu monter 17 voies de bois à un premier étage de 5 mètres dans un jour, en 187 voyages, il avait ainsi fourni 129 000 kilogrammètres de travail utile, mais il lui fallait ensuite deux jours de repos.

En réalité l'effet utile n'est que l'élévation du fardeau, le transport du poids du corps consomme beaucoup de travail perdu, mais cependant ce travail est nécessaire, on devrait lui ajouter le travail de descente qui est sensiblement égal au tra-

1. Coulomb, *Théorie des machines simples.*

vail de montée. En répétant ces expériences avec différentes charges, on voit que le maximum d'effet utile correspondrait à la charge de 53 kilogrammes environ. Lorsqu'un travail doit durer une partie considérable de la journée, il faut nécessairement diminuer les charges et augmenter le nombre des voyages à proportion.

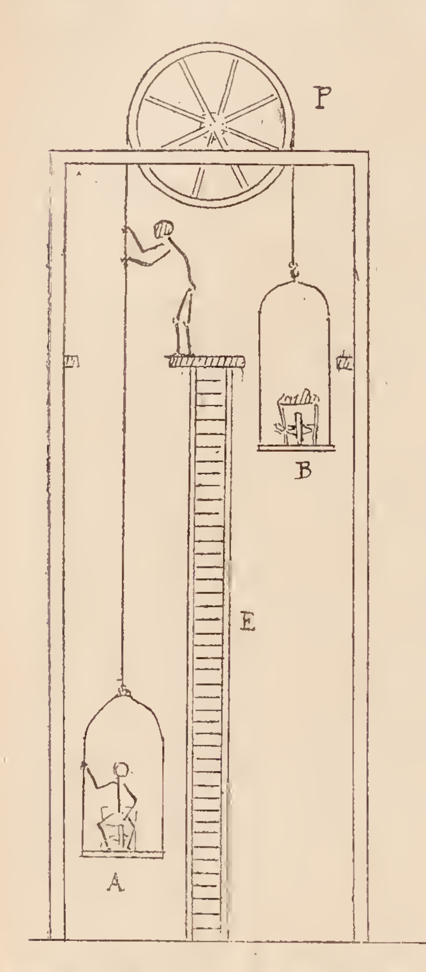


Fig. 530. — Disposition avantageuse pour élever des fardeaux en utilisant le poids de l'homme (Delaunay).

Une brouette pleine B est montée par l'homme et la brouette vide qui lui fait contrepoids en A au moyen de la poulie P. Une échelle E permet à l'homme de remonter pour se placer dans le plateau B quand la brouette sera déchargée.

Rendement maximum. — C'est en élevant le poids de son corps à vide au moyen des membres inférieurs comme dans le treuil des carriers que l'on peut produire la plus grande somme de travail. Dans une journée de 8 heures on peut ainsi effectuer 256 000 kilogrammètres.

On a construit sur ce principe des monte-charges pour élever des terres à un certain niveau. On amène une brouette chargée de terre sur le plateau inférieur, un ouvrier se place avec une brouette vide dans l'autre plateau. Ce dernier descend par excès de charge, la brouette chargée est élevée au niveau supérieur et déchargée tandis que des ouvriers sont uniquement occupés à monter du plancher supérieur à l'aide d'une échelle pour redescendre avec une brouette vide (fig. 530).

On peut produire ainsi dans une journée 280 000 kilogrammes de travail par homme. Ce nombre est bien supérieur à ce qu'on peut obtenir en travaillant avec les bras. En manœuvrant la sonnette d'un mouton destiné à enfoncer des pilotis, chaque homme soulève 20 kilogrammes du poids du mouton à 1 mètre. Il donne 20 coups à la minute et 60 à 80 coups de suite, puis il doit se reposer autant de temps qu'il a travaillé[1]. Pour manœu-

1. Delaunay. *Cours de mécanique appliquée.*

vrer un cabestan, il ne faut pas exercer plus de 12 kilogrammes à l'extrémité du levier et marcher avec une vitesse de 60 centimètres à la seconde. Pour tourner une manivelle de 32 centimètres de rayon, on exerce 7 ou 8 kilogrammes de pression et l'on fait 20 à 25 tours par minute. On arrivera ainsi à produire au mouton 100 000 kilogrammes et 172 000 kilogrammes à une manivelle, chiffres bien inférieurs au travail produit au moyen des jambes.

Un laboureur enfonce sa bêche de 25 centimètres et élève à chaque coup une motte de terre de 6 kilogrammes à 40 centimètres environ ; s'il donne 20 coups de bêche par minute, s'il faut faire un effort de 20 kilogrammes pour enfoncer la bêche au début et de 12 kilogrammes pour continuer à l'enfoncer, 15 kilogrammes en moyenne, en tenant compte du poids de la bêche évalué à 1 k., 7, on évaluera pour 181 mètres carrés de terre labourée, le travail quotidien à 96 600 kilogrammètres ; en y ajoutant la part de travail employée à casser les mottes et à étaler la terre, on arrivera au chiffre de 100 000 kilogrammètres par jour.

Il est bien entendu qu'on peut dans presque tous les métiers fournir pendant quelques minutes une somme de travail triple du travail moyen. On peut même consommer tout son travail journalier en deux ou trois heures, mais c'est au prix d'une fatigue excessive qui nécessite le repos.

Comparaison de la dépense de travail dans divers exercices. — Un homme ne doit pas employer toute sa force lorsqu'il travaille d'une façon continue mais seulement une partie de l'effort dont il est capable.

Le maximum d'effort musculaire que l'on puisse produire est le soulèvement d'un poids entre les jambes ; on peut développer ainsi 200 à 300 kilogrammes. Mais on pourra répéter cet effort deux fois de suite et soulever le poids à 20 centimètres, total maximum, 120 kilogrammètres. C'est bien peu de chose comme résultat ; on risque encore de se blesser sérieusement.

Dans un saut en hauteur le travail se mesure par le produit du poids du corps par la hauteur d'élévation à laquelle s'est élevé son centre de gravité. Cela vient de l'équivalence du travail moteur et du travail résistant. Le travail résistant de la

pesanteur lorsque la vitesse du corps s'est annulée, c'est-à-dire à la hauteur d'élévation H est PH. Le travail moteur maximum des muscles correspond à une hauteur donnée par cette valeur du travail résistant.

$$T = PH \text{ d'où } H = \frac{T}{P}$$

De là Chabry fait remarquer que si l'on compare deux animaux sauteurs de poids différents mais géométriquement semblables et ayant des tissus jouissant des mêmes propriétés : un géant et un nain appartenant à la même espèce, on voit que les rapports des poids du corps P sont égaux aux rapports des poids des muscles du saut p supposés semblables et égaux au rapport du travail de ces muscles. Les rapports du travail moteur de

$$\frac{p'}{p} = \frac{P'}{P} = \frac{t'}{t}$$

l'ensemble des muscles seront égaux au rapport du poids du corps.

$$\frac{T'}{T} = \frac{P'}{P} \text{ or } \frac{T'}{P'} = \frac{T}{P} = H$$

Donc la hauteur du saut sera la même pour le nain et le géant. Nous avons montré les préjugés à l'égard du saut d'une puce à propos de l'analyse du saut (p. 362).

Travail de deux sujets semblables de tailles différentes. — Il résulte de l'observation précédente que chez deux hommes géométriquement semblables et physiologiquement égaux le travail dont chacun est susceptible est proportionnel au poids respectif des muscles ou à leur volume, c'est-à-dire au cube des tailles. Si l'un était de dimension double de l'autre, il serait par cela même capable d'un travail 8 fois plus grand et comme les forces musculaires sont comme les sections des muscles, il serait 4 fois plus fort.

L'étendue de la surface de la peau serait seulement 4 fois tandis que son volume serait 8 fois celui du petit. Le rapport de la surface au volume du corps serait ainsi de 1 à 2 chez l'homme grand comparativement à l'homme petit. Ce dernier a donc une surface cutanée et une surface respiratoire plus grande

par rapport à son volume. Il se trouve physiologiquement mieux doué pour les échanges gazeux. Tous les phénomènes chimiques qui se passent à la surface du corps ou de certains tissus sont dans le même cas. En particulier la surface de refroidissement externe est plus grande, il lui faudra une production plus active de chaleur pour conserver une température constante du corps.

Travail des bras comparé a celui des jambes. — Revenons à la comparaison du travail dans divers exercices. Dans un saut, le travail des muscles n'est pas seulement mesuré par la hauteur d'élévation du corps, il faut y ajouter le travail résistant dans la chute.

Si celle-ci se fait sur place, le travail résistant est égal au travail moteur et le travail total serait donc T = 2 PH à la condition de tomber sur un sol élastique n'absorbant pas de travail en se déformant.

On élève facilement son centre de gravité à $0^m,60$ en sautant en hauteur ; le travail est dans ce cas pour le poids de 70 kilogs 42 kilogrammètres pour l'élévation, autant pour la chute ; total 84 kilogrammètres et l'on peut répéter ce saut 10 fois de suite en une minute.

Si l'on cherche à s'élever à la force des bras on pourra faire successivement, si l'on est très exercé et particulièrement doué, 5 à 6 tractions de bras qui vous élèvent de 60 centimètres soit 42 kilogrammètres pour chaque mouvement, 70 kilog. $\times 0^m,60 \times 6 =$ 252 kilogrammètres, pour 6 tractions. Il faut être très fort pour monter à 10 mètres de hauteur à la corde lisse, cela ne représente jamais que 700 kilogrammètres et ne peut être répété plusieurs fois de suite. Si l'on élève un haltère de 40 kilogrammes 3 fois de suite à 2 mètres de hauteur, on aura produit $40 \times 2 \times 3 = 240$ kilogrammètres, les jambes auront participé à ce travail mais néanmoins c'est avec un grand effort qu'il aura été effectué et il sera impossible de le recommencer souvent de suite.

Si on compare ces travaux entre eux, on est frappé de la petitesse du rendement dans la locomotion par les mains ; le travail est proportionnel au poids des muscles et le rapport du travail fait avec les bras ou avec les jambes serait alors sensi-

blement proportionnel au poids du membre supérieur et du membre inférieur. Le travail des jambes montre une supériorité véritablement écrasante sur le travail des bras (fig. 531).

Les mêmes poids, si lourds à la main, seraient soulevés aisément par les jambes. Les acrobates japonais jonglent ainsi avec des hommes en se couchant sur le dos, ce qu'il leur serait impossible de faire avec les mains.

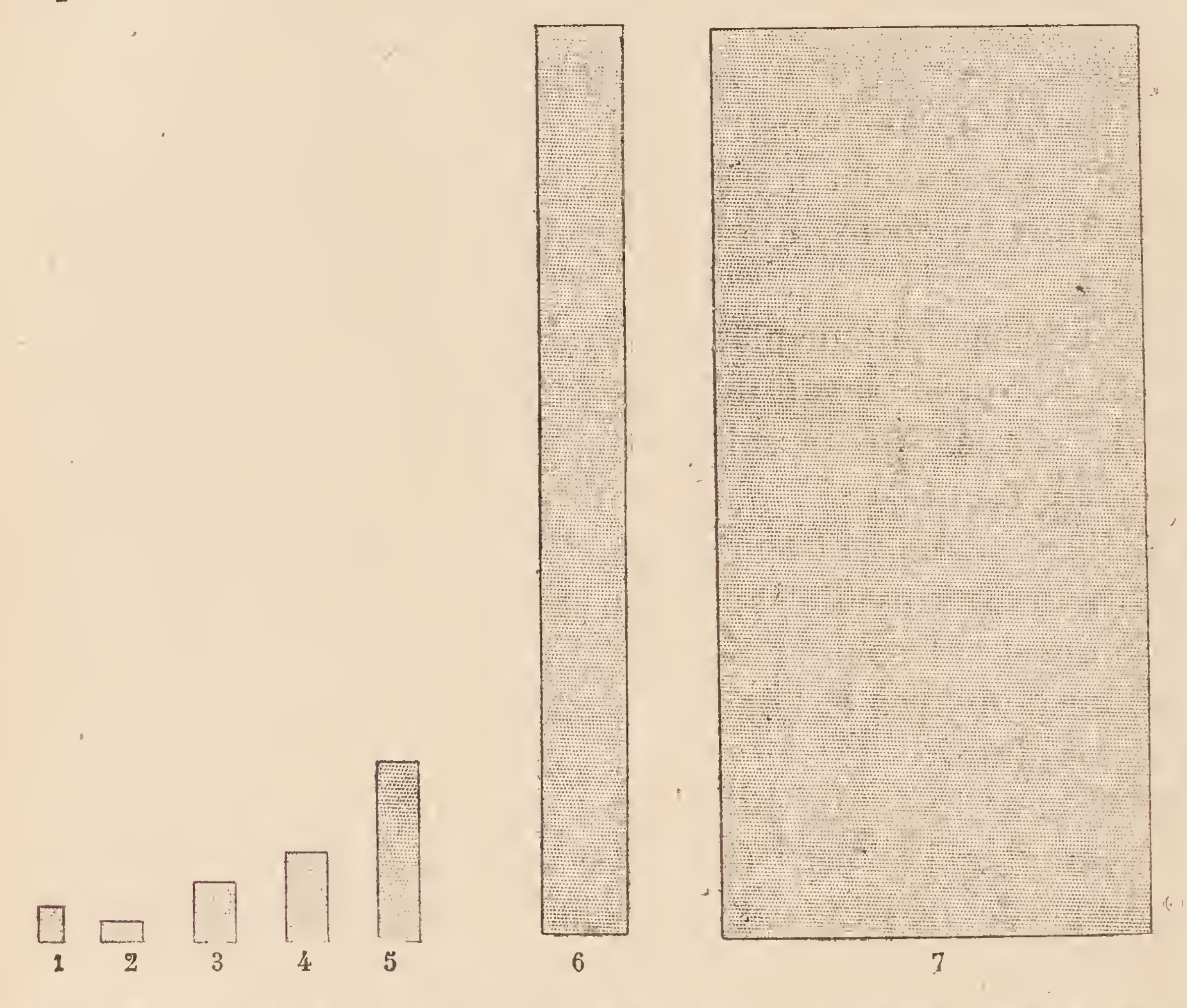


Fig. 531. — Valeur relative du travail accompli normalement par un même sujet avec les bras ou avec les jambes dans les actes suivants :

1. Soulever un haltère de 40 kilogs à 2 mètres, trois fois de suite (bras); — 2. Soulever 6 fois le corps à 60 centimètres de hauteur à la force des bras ; — 3. Monter à une corde de 10 mètres de hauteur avec les bras ; — 4. 30 sauts successifs de 50 centimètres de hauteur (jambes) ; — 5. Montée d'un escalier de 6 étages (jambes) ; — 6. Montée à la tour Eiffel (300 mètres) (jambes) ; — 7. Ascension d'une montagne de 1,500 mètres (jambes). Le travail dépensé est proportionnel à la surface des rectangles figurés.

Somme toute, les bras sont faits pour exécuter du travail sous forme de vitesse, les jambes sous forme d'efforts intenses.

Travail suivant l'horizontale et suivant la verticale. — Dans un saut en hauteur et longueur l'effort étant oblique, le travail total est la somme des travaux suivant la verticale et suivant l'horizontale. Le premier se mesure par la hauteur d'élévation,

le second par le chemin parcouru horizontalement par le corps dans le temps du saut connnaissant la vitesse initiale communiquée au corps au départ ; le travail horizontal est la force vive de la masse du corps à ce moment, c'est-à-dire $\frac{1}{2}$ m V^2, V étant la vitesse horizontale du centre de gravité.

Transport des fardeaux. — Lorsqu'on transporte un fardeau sur une route de niveau, le travail dépend exclusivement des résistances passives dues aux inégalités du terrrain ; aussi voit-on la valeur de ce travail diminuer si l'on traîne le fardeau sur un sol rugueux ou si on le roule sur des rails. Le poids du fardeau ne crée d'autre élément de travail que par l'écrasement du sol et la déformation de la voiture. La résistance de l'air n'est à considérer que dans les grandes vitesses. Le travail est mesuré par l'effort moyen de traction multiplié par le chemin parcouru et cet effort diminue avec la qualité du chemin.

Travail dans un pas de marche. — Il n'en est plus de même pour un marcheur ou un coureur. Dans la marche et la course, la force qui travaille n'est pas dirigée suivant la direction du chemin à suivre et de plus l'impulsion est périodique et non continue, de là une trajectoire sinueuse du centre de gravité et une variation périodique dans la vitesse de translation coïncidant avec le rythme de l'allure.

L'évaluation du travail produit pendant la marche n'est plus une chose simple, elle ne peut se faire qu'approximativement et avec des données expérimentales.

J'ai essayé de déterminer ce travail dans les allures marchées et courues ; si les résultats ne sont pas d'une rigueur absolue la valeur relative du travail et sa variation en fonction du rythme résente un intérêt certain.

C'est par l'emploi de la chronophotographie que nous avons obtenu la mesure des différents mouvements de la masse du orps et des membres inférieurs nécessaires à notre estimation[1].

En faisant abstraction des mouvements latéraux du tronc, il y a lieu de diviser le travail dans la locomotion sur un plan horizontal en trois travaux élémentaires :

1° Le travail suivant la verticale ;

1. Marey et Demeny, Mesure du travail mécanique effectué dans la locomotion de l'homme, *Comptes rendus Ac. des Sciences*, 9 novembre, 1885.

2° Le travail suivant l'horizontale ;

3° Le travail nécessaire à l'oscillation du membre inférieur pendant son lever.

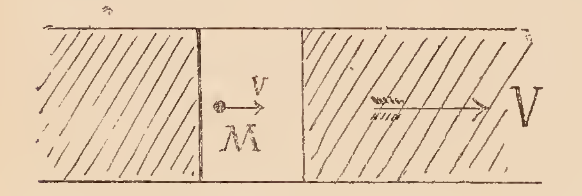
4° Le travail *statique* de soutènement [1].

Travail suivant la verticale. — Le *travail suivant la verticale* est le produit du poids du corps par la hauteur dont s'élève le centre de gravité dans les réactions verticales du tronc. Nous nous rappelons que pendant l'appui d'un pied la trajectoire de la tête s'élève, elle s'abaisse au moment du double appui. Le sommet de la tête oscille entre deux lignes de niveau distantes de 4 centimètres en moyenne. Les chronophotographies [2]

1. Ce travail étant un travail intérieur nous n'avons pas de moyens de l'évaluer.

2. Les analyses cinématiques des mouvements ont été faites par nous par la méthode de M. Marey (Voir : Marey, *Le Mouvement ;* Demeny, *Conférence sur la chronophotographie au Conservatoire des Arts et Métiers*).

La garantie offerte par cette méthode des photographies successives sur une même plaque dépend de deux choses :



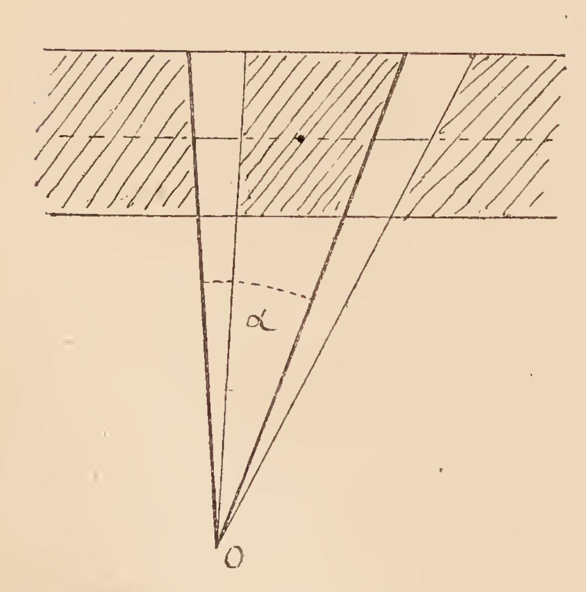


Fig. 532. — Obturation au moyen d'un disque fenêtré.

M image d'un point lumineux animé d'une vitesse *v* sur la plaque photographique et photographié au moyen d'un obturateur à rideau ayant une vitesse V.

1° Éviter les erreurs de perspective ;

2° Éviter les erreurs chronométriques dans l'obturation.

Les erreurs de perspective sont atténuées en prenant un point de vue très éloigné 60 à 80 mètres et en se servant d'objectifs ou de miroirs à long foyer et à grande ouverture.

Les erreurs d'obturation sont amoindries en employant un obturateur circulaire à rotation très rapide de grand diamètre et à fente large. On ne saurait trop se mettre en garde contre les obturateurs de plaque à vitesse modérée et à fente étroite qui photographient successivement chaque point de l'image en mouvement sur la plaque et donnent une netteté des contours avec une déformation générale de l'ensemble. Avec ces obturateurs trompeurs le pied d'un coureur peut être net, mais il n'est pas à sa place ou il est déformé parce qu'il s'est déplacé d'une quantité appréciable pendant la durée de l'obturation.

Le flou est l'espace parcouru sur la plaque par le point lumineux M pendant le temps d'éclairement ou de passage de la fenêtre ; *a* étant la largeur de la fente, V la vitesse d'obturation, *v* la vitesse de l'image du

donnent exactement cette trajectoire (fig. 535). Nous avons aussi mesuré les réactions verticales directement et nous les avons prises pour les oscillations du centre de gravité en les corrigeant de la petite quantité dont le centre de gravité se déplace dans le corps par suite de la flexion des jambes.

Si le poids du marcheur est 75 kilogrammes et l'amplitude des oscillations verticales $0^m,04$, chaque élévation du corps représente un travail positif de 3 kilogrammètres, chaque abaissement un travail négatif de même valeur et, comme il y a deux

point lumineux; le temps d'éclairement est $\frac{a}{V - v}$, le flou $= \frac{av}{V - v}$ il est proportionnel à a la largeur de la fente, à la vitesse de l'image sur la plaque et inversement proportionnel à la différence des vitesses de l'obturateur et de l'image lumineuse (fig. 532).

Quand $v = V$ le flou est continu, quand $v = o$ il est nul.

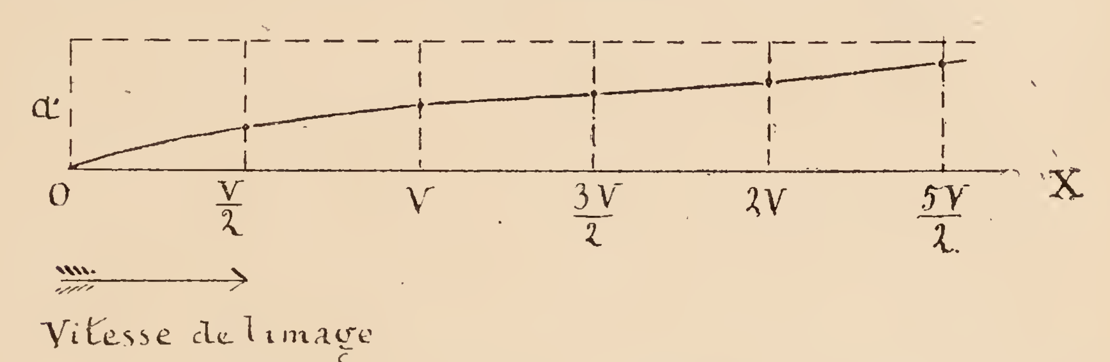


Fig. 533. — Courbe donnant la loi du flou de l'image photographique en se servant d'un obturateur à fente se mouvant en sens contraire de l'image du point lumineux à photographier.

Si V et v augmentent en même temps de même quantité le flou augmente. Si l'image et la fente ont des vitesses de sens contraire, la vitesse relative de l'image par rapport à la fente est $V + v$, le flou $= \frac{av}{V + v}$ c'est-à-dire plus petit que $\frac{av}{V - v}$

Si a est constant et V aussi, on voit que si v augmente $\frac{V}{v}$ diminue et le flou augmente mais est toujours inférieur à la largeur de la fente, à la limite pour v infini il y aurait égalité.

La limite minimum a lieu pour $v = o$ le flou est nul. Le flou varie donc entre o et la largeur de la fente.

La discussion de la formule dans les deux cas donne lieu aux deux figures ci-dessous qui représentent la variation du flou (fig. 533 et 534).

1° La fenêtre progresse dans le sens de l'image

pour $v = o$	flou =	o
$v = V$	flou =	infini
$v = nV$	»	$\frac{n}{1 - n}$
$v =$ infini.	»	a

oscillations dans un pas complet, le travail correspondant aux oscillations verticales sera de 12 kilogrammètres à chaque pas. C'est évidemment là une valeur supérieure au travail réel mais c'en est une limite supérieure. Il est bon de remarquer que si le corps s'abaisse sur le sol au moment du double appui à cause de l'écartement des jambes, le centre de gravité du corps ne s'abaisse pas d'une quantité égale.

2° La fenêtre progresse en sens contraire de l'image

$v = o$ . . . . flou $= o$

$v = V$ . . . . » $\frac{a}{2}$

$v = nV$ . . . . . . » $\frac{n}{n+1} a$

$v =$ infini . . . . » a

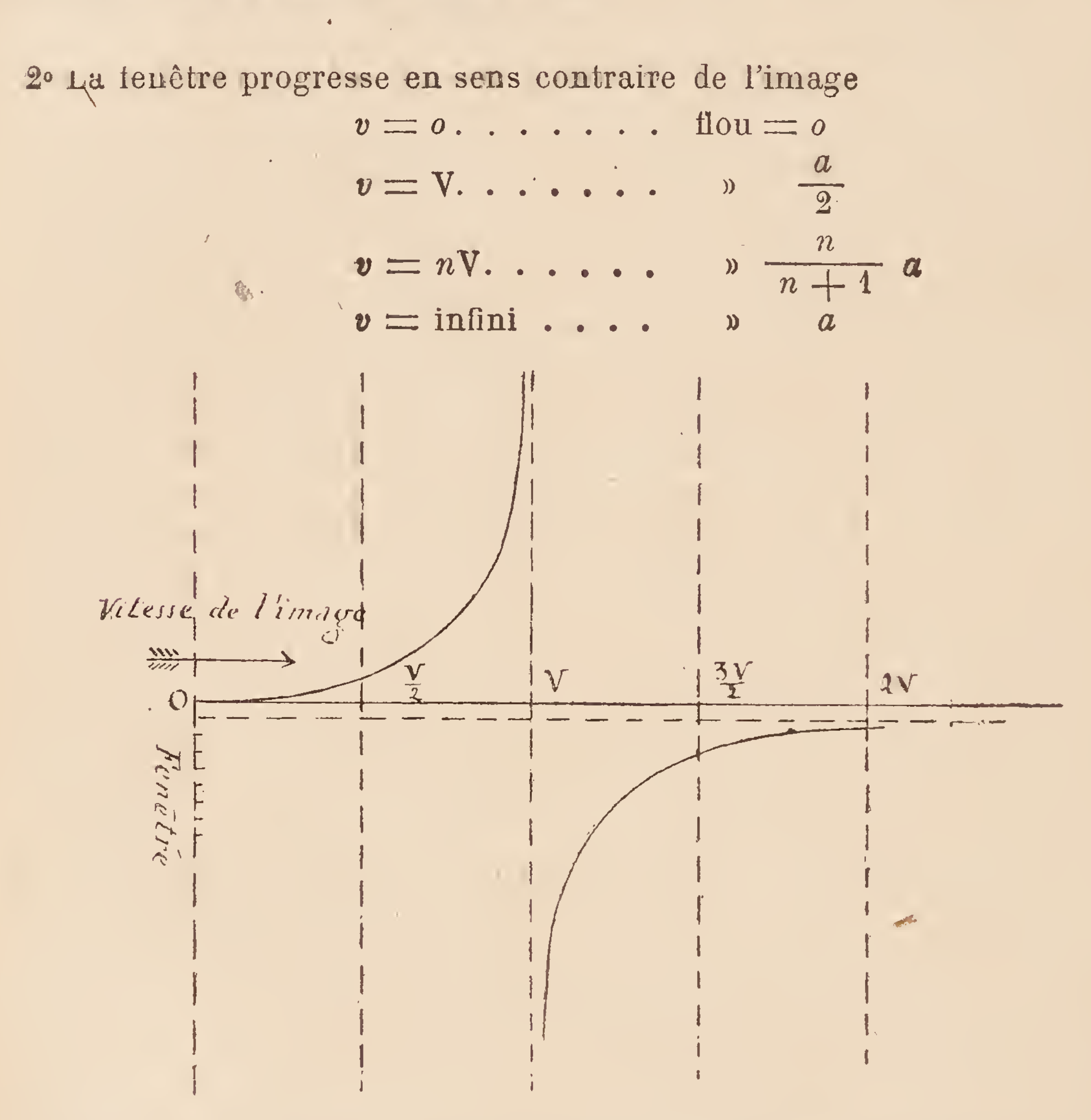


Fig. 534. — Loi du flou de l'image photographique obtenue avec un obturateur à fenet étroite se mouvant dans le même sens que le point lumineux à photographier.

Dans le cas d'un disque de rayon r et de fente a.

k représente la largeur de la fente pour l'unité de rayon $\frac{a}{r} = k$

Le flou correspondant à l'angle α dont a tourné le disque serait

$$Fl^{\alpha} = \frac{kv}{1 - \frac{v}{rtg\,\alpha}}$$

Le flou augmente avec α.
Le flou diminuerait quand $v < rtg\alpha$ ou V.

Le changement d'attitude déplace le centre de gravité et le fait remonter dans le corps par le fait de l'écartement des jambes (fig. 536, 537 et 538).

Cela a pour effet de rectifier la trajectoire réelle du centre de

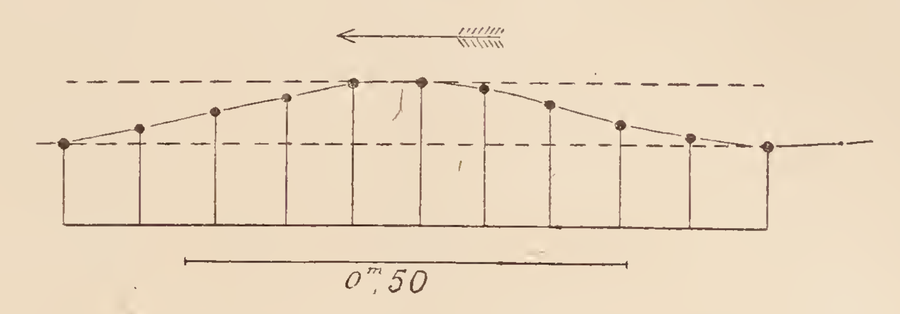


Fig. 535. — Portion de la trajectoire de la tête pendant l'appui du pied dans la marche montrant la projection sur une ligne horizontale des espaces parcourus par la tête dans des temps égaux.

On voit ces espaces diminuer dans la partie correspondant au maximum.

gravite dans l'espace et de diminuer ainsi ses oscillations et le travail suivant la verticale.

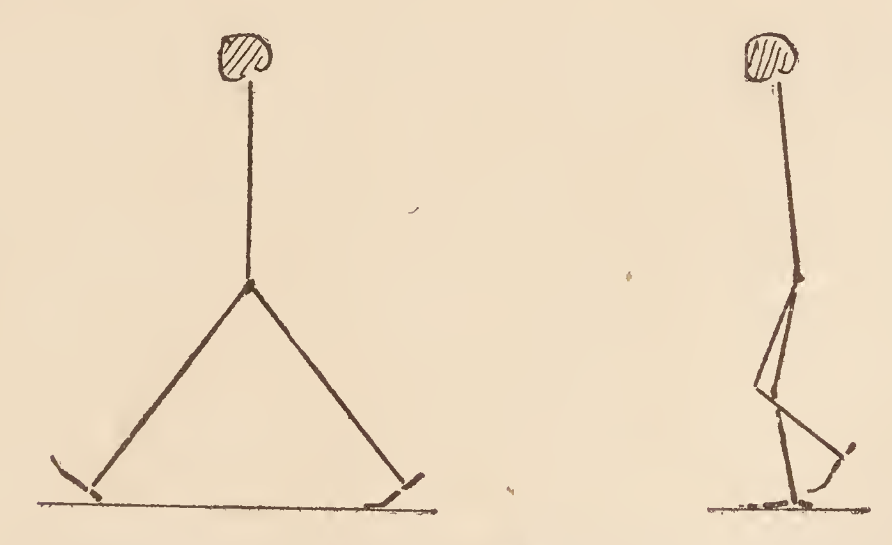


Fig. 536. — Attitudes de la marche dans lesquelles le centre de gravité se trouve élevé dans le corps ce qui modifie la trajectoire décrite dans l'espace.

Travail dépensé suivant l'horizontale. — La vitesse de translation du corps suivant l'horizontale est périodiquement variée. La variation de force vive qui en résulte mesure le travail moteur ou résistant dépensé aux différentes phases de l'appui des pieds. La variation de vitesse se mesure par l'écartement des points de la trajectoire photographiée à des intervalles égaux d'un cinquantième de seconde. Il suffit de construire la courbe de la vitesse et d'en prendre les maximums et minimums pour

en déduire les valeurs correspondantes de la force vive qu'a possédée la masse du corps, c'est-à-dire $\frac{1}{2}$ M $(V^2 - v^2)$.

Le travail moteur et le travail résistant effectués par les

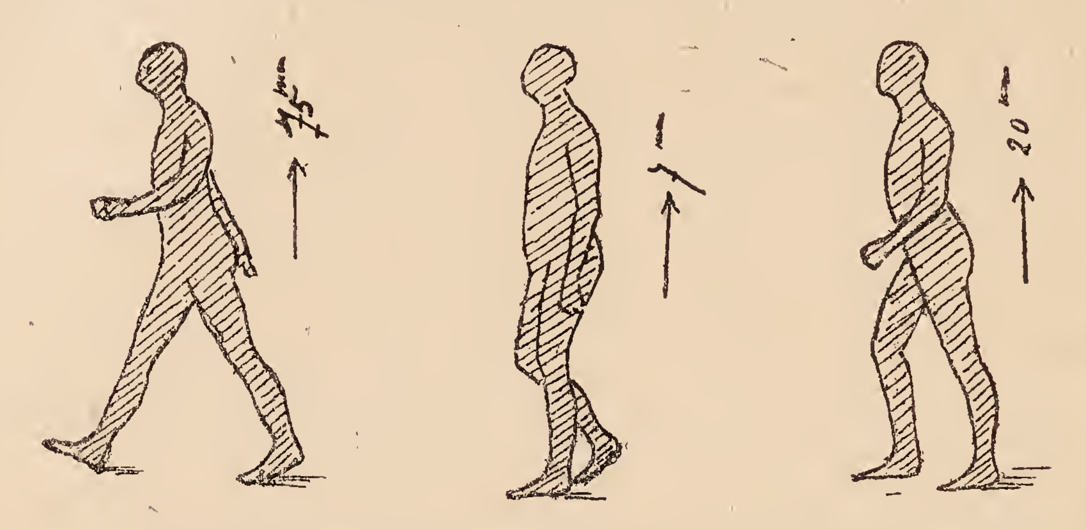


Fig. 537. — Attitudes d'un marcheur et quantités correspondantes dont le centre de gravité est élevé dans le corps par suite du déplacement des jambes.

muscles égalent chacun la moitié de cette variation de force vive, de sorte que la somme de ces deux travaux a pour limite

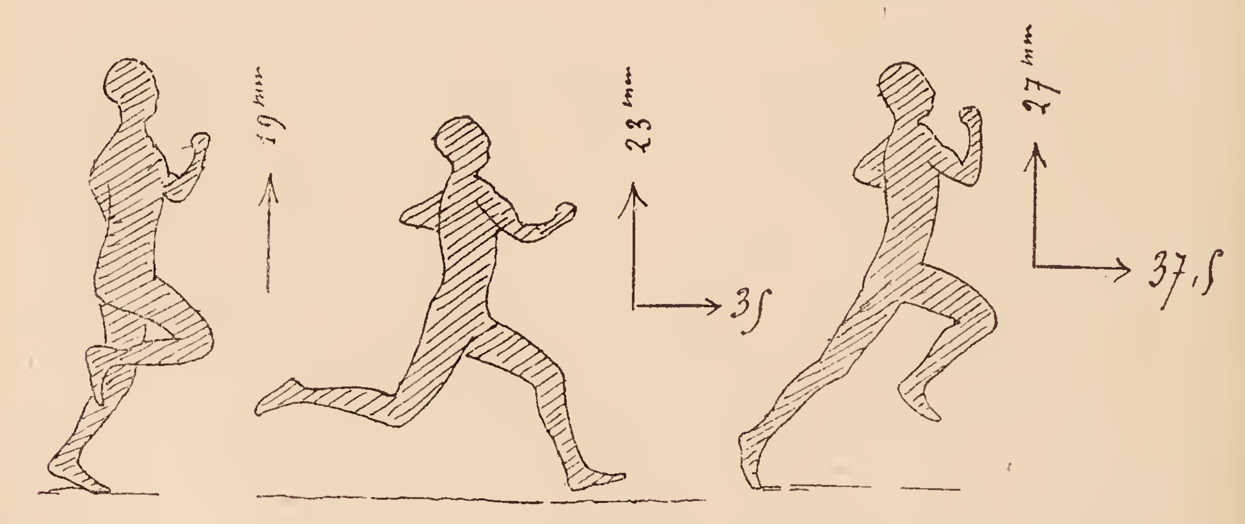


Fig. 538. — Attitudes de la course avec indication du déplacement du centre de gravité en hauteur et en avant.

Les chiffres expriment des millimètres, les flèches le sens du déplacement du centre de gravité dans le corps.

supérieure la variation de force vive tout entière. Comme pour le travail vertical le travail résistant n'est pas totalement perdu, une partie sert dans la période suivante comme travail moteur parce que les muscles restent dans une certaine tension, de sorte que la valeur réelle du travail dépensé est infé-

rieure au chiffre obtenu par ce moyen, mais c'est une limite supérieure.

Travail musculaire dépensé pour faire osciller le membre inférieur pendant le lever. — Dans aucun cas, le transport du membre inférieur d'arrière en avant ne répond à l'oscillation du pendule ; ce serait du moins le mouvement complexe d'un système composé de deux pendules articulés bout à bout éloi-

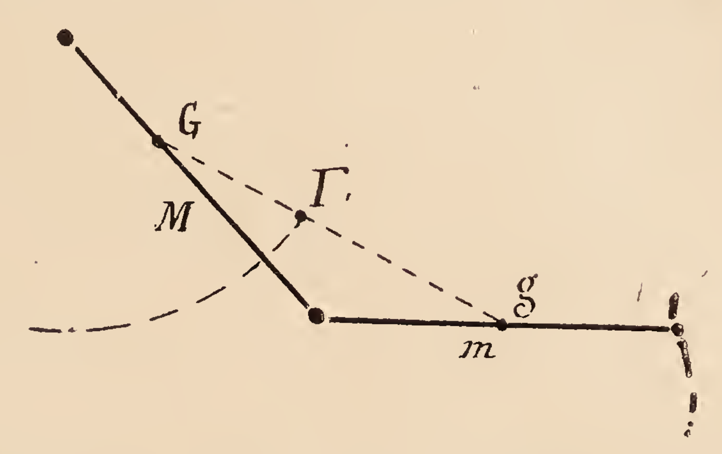


Fig. 539. — Mesure du travail dans l'oscillation de la jambe dans la marche.

M*m*, masse des segments de la cuisse et de la jambe ; — G*g*, ligne joignant les centres de gravité de ces segments ; — Γ, centre de gravité de la ligne G*g* et trajectoire de ce centre de gravité dans l'espace.

gnés de leur position d'équilibre et oscillant sous l'action de la pesanteur et de celle des muscles tandis que le point de suspension lui-même, la hanche, se meut d'un mouvement varié sur sa trajectoire curviligne (fig. 539).

Dans cette translation du membre, l'action musculaire peut être secondée par la pesanteur, mais elle n'est jamais nulle, surtout pour les allures rapides, contrairement à l'opinion des frères Weber.

La mesure du travail est alors complexe, pour l'estimer approximativement, j'ai employé différents moyens. Le premier consiste à déterminer le moment d'inertie du membre inférieur par rapport à son axe de rotation et à mesurer sur les chronophotographies la vitesse angulaire maximum qu'il acquiert. On a ainsi les éléments nécessaires pour déterminer la force vive communiquée au membre oscillant en tenant compte de sa déformation pendant ses mouvements de flexion ou d'extension.

Une seconde manière plus expéditive est de comparer la durée d'oscillation dans une allure donnée (fig. 540), à

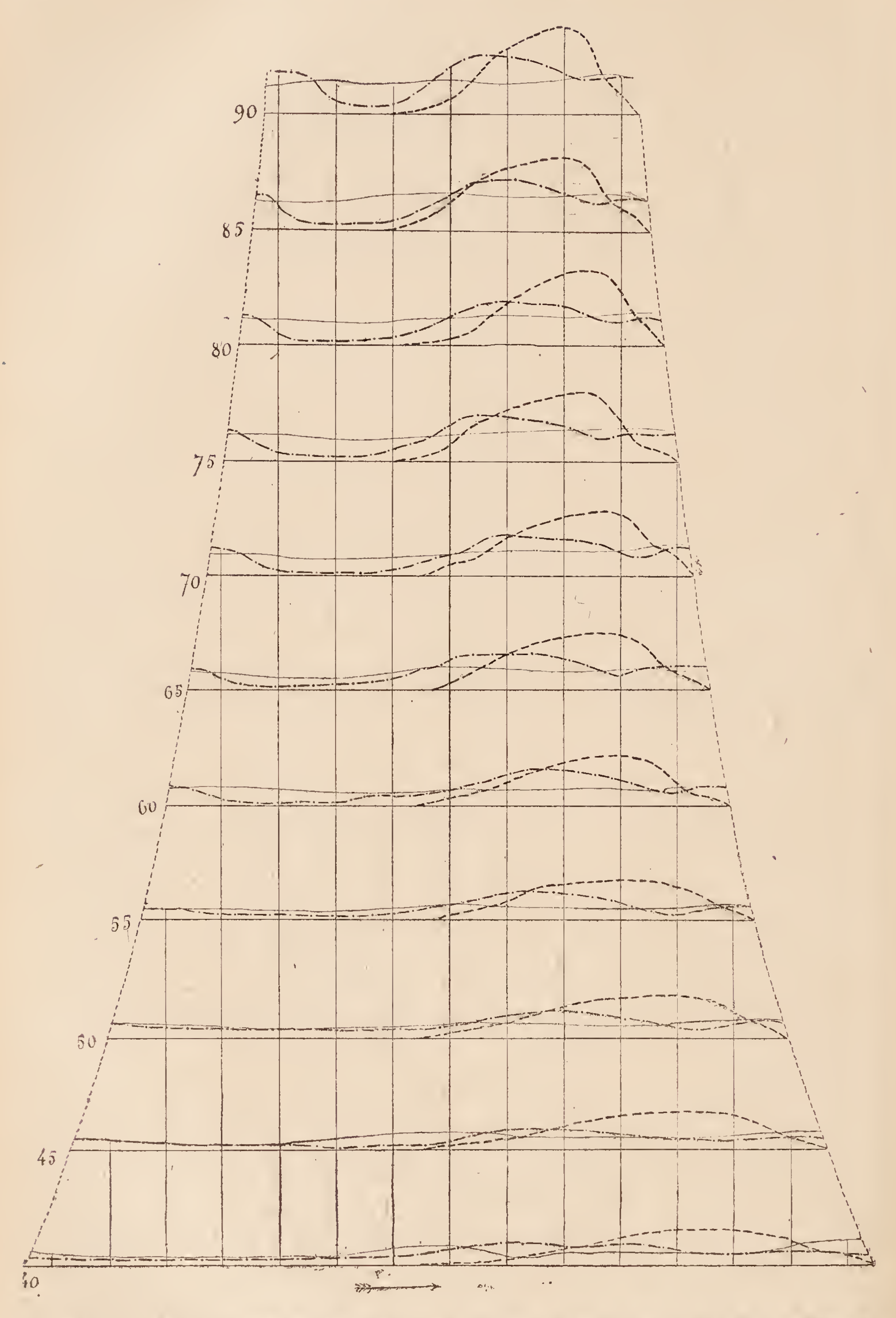


Fig. 540. — Variations en fonction du temps des vitesses horizontales de la hanche, du genou et de la cheville pendant un pas de marche à des allures de 40 à 90 pas à la minute.

Traits allongés, cheville ; point et barre, genou ; trait continu, hanche ; unité de temps, 1/50 de seconde, chaque ordonnée correspond à 1 10 de seconde.

la durée d'oscillation libre du membre inférieur ; cette dernière est toujours plus longue que la précédente. Il faut donc un certain travail pour obliger le membre à osciller dans un temps plus court égal à la période de lever du pied. Ce travail est justement le travail des muscles. Je l'obtiens approximativement comme il suit :

J'ai par expérience la durée de l'oscillation libre de la jambe soit t, d'où la longueur l du pendule simple correspondant. J'ai par expérience également la durée du double appui correspondant à une cadence donnée, d'où par différence la durée t' de l'oscillation vraie de la jambe pour cette cadence.

Tout se passe comme si la pesanteur agissait avec plus d'intensité sur la jambe.

La valeur de l'accélération théorique de la pesanteur pour faire osciller la jambe dans le temps t' au lieu de t valeur de l'oscillation pendulaire, est $g' = \frac{\pi^2}{t'^2} l$ correspondant à une augmentation de poids représentée par $m\ (g'-g)$. L'arc d'oscillation du pendule étant environ 50°, la hauteur de chute de la masse de la jambe correspondante h multipliée par l'excès de poids $m\ (g'-g)\ h$ représente le travail des muscles pour obliger la jambe à osciller dans un temps plus court[1].

La masse du corps et la masse de la jambe sont obtenues facilement. La masse du corps c'est le rapport $\frac{P}{g}$, pour avoir le poids de la jambe nous avons d'abord cherché son volume en eau déplacée dans une cuve spéciale et nous l'avons multiplié par la densité moyenne du corps.

Puis nous avons cherché sur le cadavre des données directes, nous avons été aidé dans ce travail par le professeur Sappey. Nous avons eu trois sujets à notre disposition ; voici les chiffres pour l'un d'eux :

1. On peut aussi se servir de la formule suivante :
T étant le travail dépensé dans l'oscillation du membre inférieur;
P le poids de ce dernier;
t la durée d'oscillation propre de la jambe; t' la durée de l'oscillation dans l'allure considérée;
R la longueur du pendule simple correspondant au membre inférieur;
α l'angle d'oscillation du rayon du membre pendant le lever du pied.

$$T = 2P \frac{t^2}{t'^2} R \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right).$$

Age	61 ans.
Taille	$1^m,74$
Longueur du membre inférieur.	$0^m,84$
Circonférence supérieure de la cuisse . .	$0^m,46$
Circonférence du mollet	$0^m,31$
Poids total du corps	60 kil., 500
Longueur de la cuisse	$0^m,38$
Longueur de la jambe et du pied	$0^m,46$
Poids du membre inférieur	9 kil., 500
Poids de la cuisse	6 kil. 25
Poids de la jambe et du pied.	3 kil. 25
Le centre de gravité répond à une ligne passant par le centre de la rotule.	

Les données photographiques nous permettaient d'ailleurs de connaître la position Γ du centre de gravité du membre inférieur à chaque instant de l'oscillation. G et g étant les centres de gravités de la jambe et de la cuisse on a $\frac{\Gamma G}{\Gamma g} = \frac{m}{M} = \frac{p}{P}$

En appliquant ces données et ces méthodes au calcul du travail pour tous les rythmes de la marche et de la course j'ai obtenu les résultats suivants :

Première série d'expérience; allures marchées depuis la cadence de 40 à 90 pas à la minute, allures courues de 90 à 145.

Pour l'allure la plus lente, cadence 40 pas :

Translation du membre inférieur.	$0^{kgm},3$
Oscillations verticales du corps.	6 ,2
Variation de la vitesse horizontale	2 ,5
Total.	$9^{kgm},0$

Dans la course vive j'ai obtenu comme chiffres correspondants :

Translation du membre inférieur	$3^{kgm},4$
Oscillations verticales	2 ,3
Variations de la vitesse horizontale	18 ,4
Total..	$24^{kgm},1$

Ainsi la dépense de travail dans un demi-pas sur terrain plat varie de 9 kilogrammètres à 24 kilogrammètres par demi-pas. Si l'on tient compte du nombre des pas effectués en une minute

à ces allures extrêmes, on trouve 720 kilogrammètres dans la marche lente et 6748 kilogrammètres dans la course à toute vitesse. Soit 12 kilogrammètres par seconde dans le premier cas et 112 kilogrammètres dans le second.

Influence du rythme sur le travail dépensé. — Si l'on compare entre elles les valeurs des différents éléments du travail dépensé dans un pas, on trouve qu'ils ne sont pas influencés de la même manière, par la rapidité de l'allure. Ainsi, dans la marche lente, le travail dépensé dans les oscillations verticales est plus grand que celui qui correspond aux différences dans la vitesse de la translation horizontale; dans la course rapide, c'est l'inverse qui se produit.

Il était donc nécessaire de suivre à travers toutes leurs phases les variations que chacun des éléments du travail éprouve sous l'influence d'une accélération graduelle de la cadence des allures. Pour rendre ces variations plus saisissables je les ai ramenées (fig. 541) à la forme graphique.

Dans la construction de ces courbes, j'ai pris pour abscisses les nombres des pas effectués à la minute et, pour les ordonnées, j'ai ajouté bout à bout les longueurs correspondant à chacun des éléments du travail total.

Pour toutes les cadences ces valeurs sont disposées de bas en haut suivant le même ordre : 1° la valeur du travail dépensé dans la translation du membre inférieur : 2° celle qui correspond aux oscillations verticales du corps ; 3° celle qui est liée aux variations de la vitesse dans la translation horizontale.

Les courbes de la figure 541 montrent que les différents éléments du travail total varient de façons qui semblent bizarres ; mais ces variations s'expliquent aisément par certaines conditions cinématiques ou dynamiques propres aux différentes allures.

A. *Variations du travail dépensé dans la translation du membre inférieur.* — Le travail dépensé dans cet acte croît d'une manière sensiblement proportionnelle à la cadence ; un fait qui étonne au premier abord, c'est que, pour une même cadence, la course coûte moins de travail que la marche. Ainsi, pour 90 pas à la minute, la marche dépenserait $1^{kgm},4$ pour la translation du membre inférieur, tandis que la course n'en

dépense que 0,5, et pourtant la vitesse absolue du membre est plus grande si l'on court que si l'on marche.

Cette différence de travail tient à ce que la vitesse du membre par rapport au tronc doit seule être considérée dans ces évaluations ; or cette vitesse est plus grande dans la marche que dans la course.

En effet, à égale cadence du pas, la durée de l'oscillation du membre inférieur est d'autant plus grande que celle de l'appui du pied est moindre. Cet appui, dans la marche, excède la moitié de la durée du pas complet ; dans la course, au contraire, la durée de l'appui est toujours inférieure à la moitié de celle du pas[1]. Or, comme le déplacement angulaire du membre inférieur est à peu près le même dans la marche et dans la course, la vitesse sera d'autant moindre que la période d'oscillation aura plus de durée (fig. 364).

Une conséquence physiologique de cette inégalité de la durée d'oscillation du membre aux différentes allures, c'est la tendance instinctive qu'on éprouve à courir, au lieu de marcher, aussitôt qu'on impose à l'allure une cadence trop rapide. C'est une des nombreuses manifestations de notre propension naturelle à rechercher le moindre effort dans tous les actes musculaires.

B. *Variations du travail dépensé dans les oscillations verticales du corps.* — La figure 541 montre que cet élément du travail ne croît pas régulièrement avec la rapidité de la cadence. Dans la marche, ce travail augmente rapidement entre cinquante-cinq et soixante-dix pas à la minute, puis va en décroissant ; dans la course, il est très grand pour les cadences les plus lentes et diminue à mesure que l'allure devient plus rapide. Les deux facteurs de cet élément du travail étant le poids du corps et l'amplitude de ses oscillations verticales, c'est aux variations de celles-ci que se rapportent les inégalités du travail dépensé aux différentes allures.

Nous avons vu la relation existant entre la longueur du pas et les oscillations verticales et de plus la longueur du pas et la cadence (fig. 322).

1. Voir à ce sujet : Demeny, Variations de la durée du double appui des pieds dans la marche de l'homme, *Comptes rendus de l'Ac. des Sciences*, séance du 15 juin 1885.

Dans la course, le travail est plus grand pour les cadences lentes et décroît ensuite d'une façon continue. Les oscillations verticales suivent une variation semblable. Aux cadences lentes il faut que le corps ait été élevé très haut pour ne retomber que tardivement sur le membre et l'appui ; aux cadences rapides, une faible étendue est imposée à l'oscillation par la courte durée qui lui est assignée.

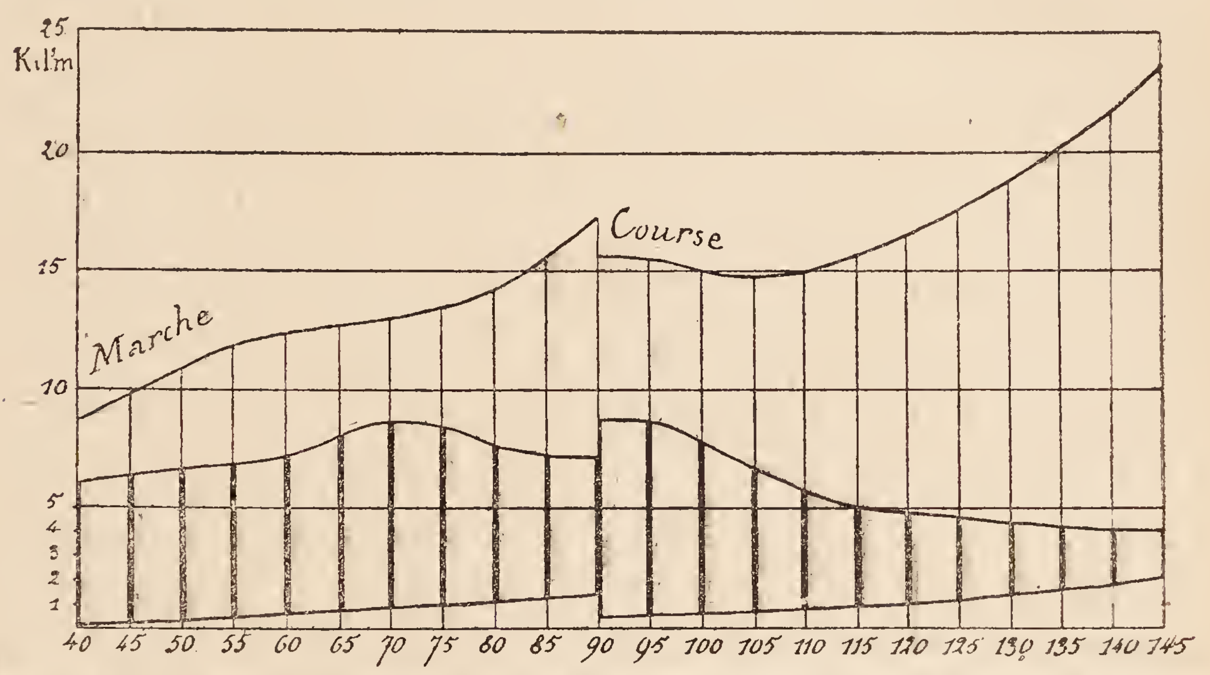


Fig. 541. — Valeurs relatives des trois éléments du travail dépensé dans la marche et la course à des rythmes croissant de 40 à 145 pas à la minute.

Chaque ordonnée indique en kilogrammètres : 1° Le travail nécessaire à l'oscillation de la jambe pendant le lever ; — 2° Le travail absorbé par les réactions verticales du du tronc ; 3° Le travail nécessaire à conserver au corps une vitesse moyenne horizontale. (Sujet pesant 64 kilogs ; marche sur terrain dur et de niveau).

Dans la marche, l'amplitude des oscillations verticales du corps est liée à la longueur du pas ; elle en est indépendante dans la course, où l'on observe même, à cet égard, une relation inverse : nous avons exprimé ces rapports dans la figure 322

C. *Variations du travail dépensé dans les variations de vitesse de translation horizontale du corps.* — Cet élément du travail s'accroît assez régulièrement avec la vitesse de l'allure et avec la longueur du pas. Dans la course, il prend une valeur très grande, quoique les variations absolues de la vitesse soient faibles ; cela tient à ce que les variations de la force vive acquise ou perdue par la masse du corps sont proportionnelles à la différence des carrés des vitesses maxima et minima de la translation.

Limite de la vitesse. — Cet accroissement de travail pour passer d'une vitesse de la course à une autre vitesse plus grande explique la limite imposée à la vitesse d'un coureur.

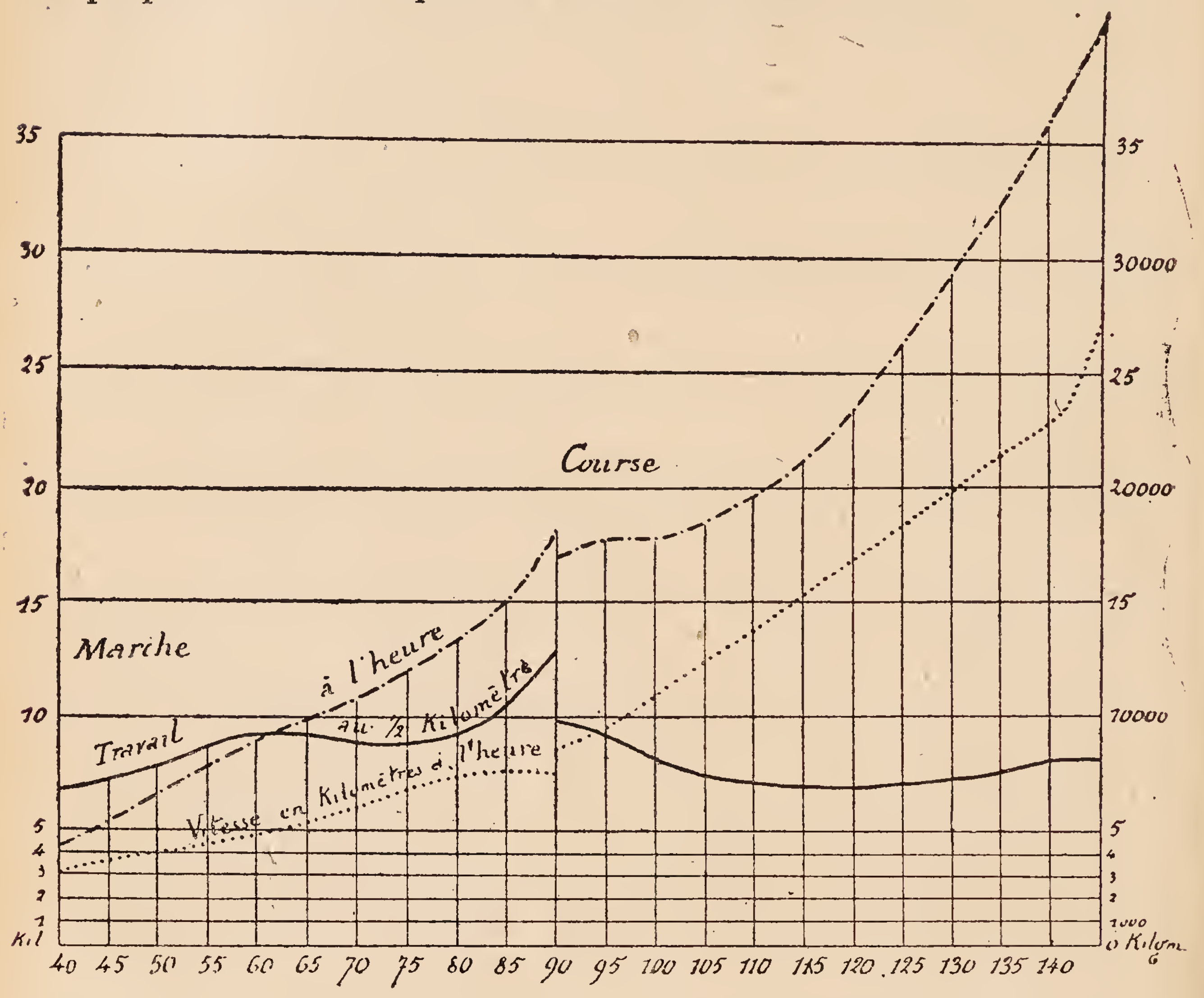


Fig. 542. — Comparaison du travail à l'heure et au kilomètre dans des allures dont la cadence s'accélère régulièrement ; variations correspondantes de la vitesse.

Les chiffres indiqués sur la ligne des abscisses représentent la cadence de l'allure, les nombres des ordonnées des kilogrammètres.

Pour passer en effet d'une vitesse V_0 à une vitesse V il faut dépenser un travail mesuré par la demi-variation de force vive de la masse du corps c'est-à-dire : $\frac{1}{2} m(V^2 - V_0^2)$ ou $\frac{1}{2} m (V + V_0)(V - V_0)$.

Le travail supplémentaire est donc proportionnel à la différence de vitesse acquise et à la somme des vitesses, il dépend donc de la valeur de la vitesse initiale, et croit très vite avec elle.

Travail a l'heure et travail au kilomètre. — Des données

précédentes il est facile de déduire le travail à l'heure et au kilomètre correspondant à la vitesse de progression et pour les cadences de 40 à 140 pas à la minute. J'ai construit le tableau suivant sur ces données expérimentales (fig. 542).

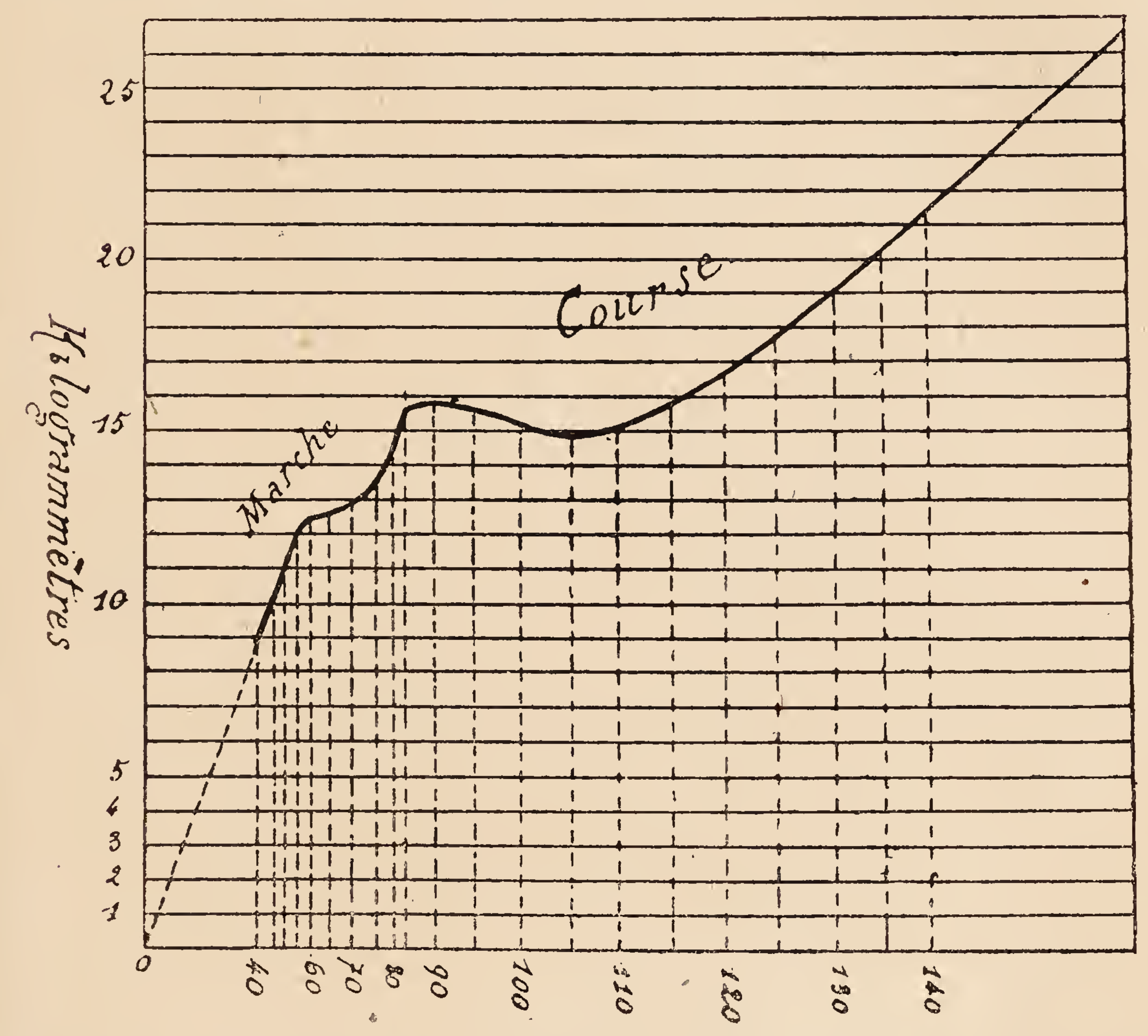


Fig. 543. — Courbe de la variation du travail dépensé dans un pas en fonction de la vitesse de progression dans la marche et la course.
Les chiffres sur l'axe des abscisses indiquent les rythmes correspondants.

En comparant la marche et la course au point de vue du travail dépensé on constate les différences suivantes :

Dans la marche, la dépense de travail croît toujours avec la vitesse de progression, et cet accroissement est très grand pour les allures qui dépassent les cadences normales de 55 à 65 doubles pas à la minute.

Dans la course, la dépense de travail pour une vitesse de progression peu supérieure à celle de la marche est plus grande

que dans la marche, mais la dépense *décroît* pour une course plus rapide et s'élève ensuite dans les limites indiquées par le tableau précédent (fig. 543).

J'ai négligé le travail dû à l'effort statique de soutien du membre à l'appui, mais il est entendu que ces évaluations n'ont qu'une valeur comparative, du reste la valeur absolue de nos résultats est un maximum.

RYTHMES AVANTAGEUX ET RYTHMES DÉFECTUEUX. — C'est pour ces

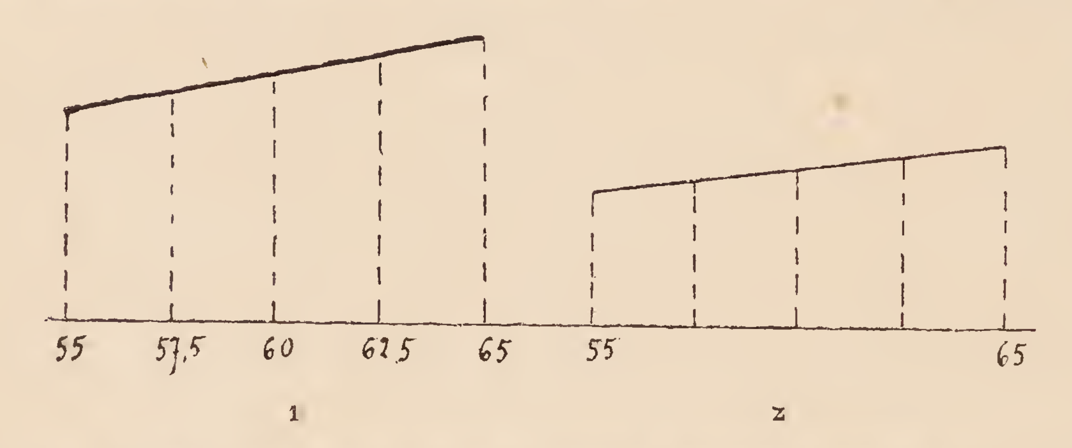


Fig. 544. — 1. Réactions verticales du corps en millimètres dans la marche aux rythmes 55-65 pas à la minute.

L'ordonnée 55 correspond à 4 centimètres d'élévation.

2. Travail correspondant en kilogrammètres.

Les ordonnées représentent le travail.

raisons que nous avons distingué dans les allures de l'homme des rythmes avantageux et des rythmes défectueux au point de vue de l'utilisation économique de la force musculaire, utilisation qui est le but final de nos études sur la locomotion.

Si l'on veut parcourir la plus grande distance avec le moins de dépense ou franchir une distance donnée dans le temps le plus court, on devra recourir à des allures différentes et choisir la cadence la plus favorable.

Pour la marche rapide, à partir de 70 pas à la minute la dépense de travail croît rapidement, pour la course le travail est assez grand aux cadences lentes, il diminue quand la fréquence des pas s'accroît, puis augmente de nouveau, il y a donc, pour chaque allure, certaines cadences favorables, ce sont celles où la vitesse croît plus vite que la dépense de travail.

D'autres considérations doivent intervenir encore pour

motiver le choix des allures. Il ne faut pas que la dépense de travail se fasse en un temps trop court, sans quoi la réparation

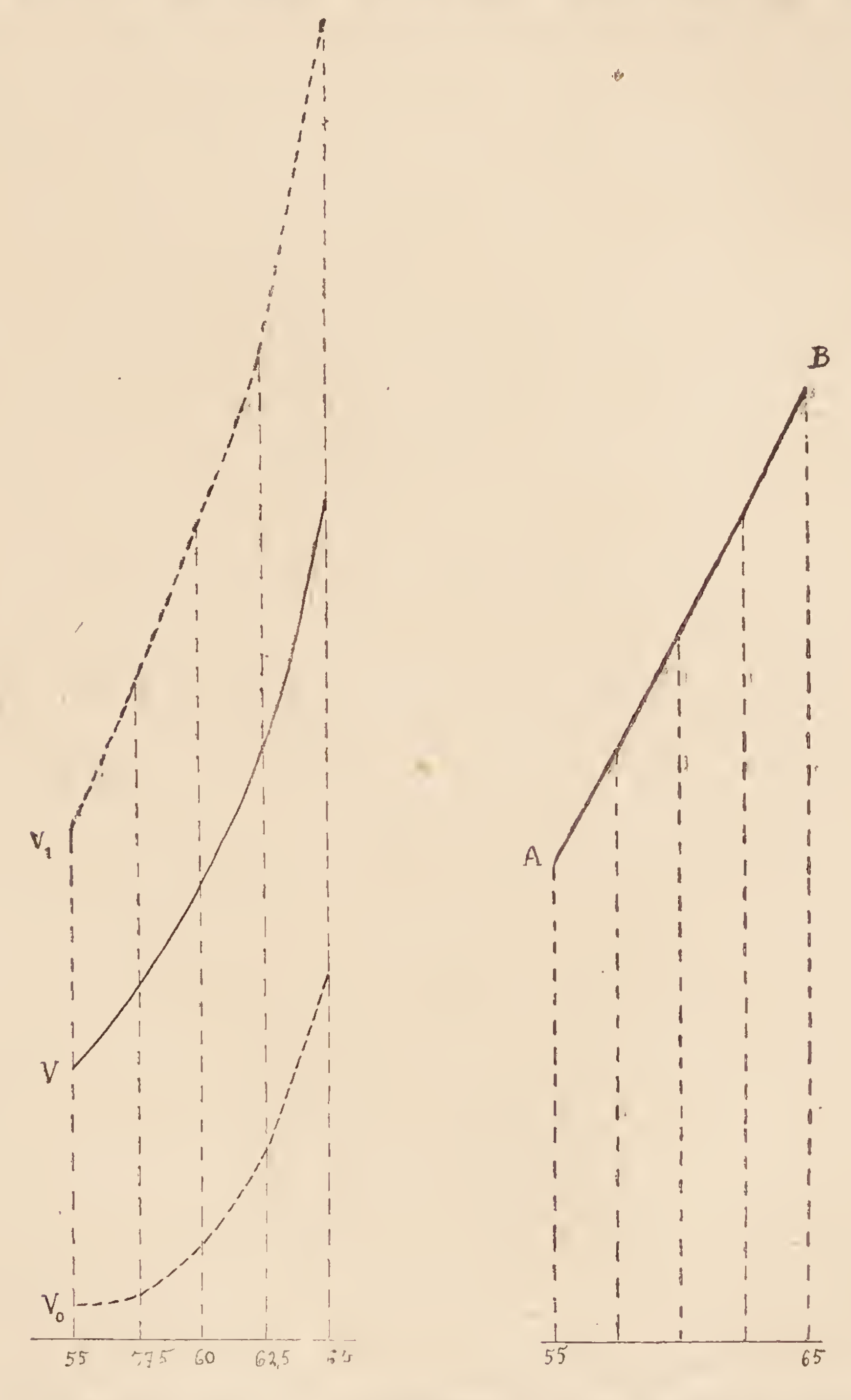


Fig. 545. — Courbes de la vitesse moyenne de progression V du corps et des vitesses minimum V_0 et maximum V_1 pendant l'appui du pied dans la marche entre les cadences 55 et 65 pas à la minute.

AB, variations absolue de la vitesse à la seconde de la masse du corps pendant l'appui du pied. Échelle de réduction 1/4.

des forces musculaires n'arriverait plus à compenser la fatigue. On peut impunément soutenir une longue marche au bout de laquelle on aura dépensé un grand travail, tandis qu'une course rapide épuiserait en peu de temps la force musculaire avec une dépense de travail beaucoup moindre. Il y a donc lieu de déter-

miner pour chaque allure la dépense de travail à l'heure et au kilomètre, ainsi que les relations de la vitesse avec la cadence (fig. 542).

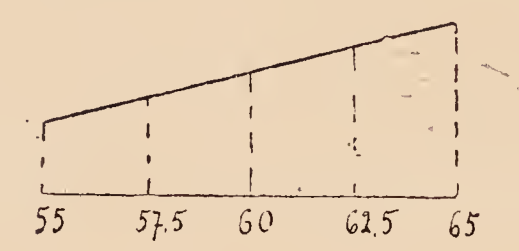


Fig. 546. — Travail correspondant à la variation de force vive de la masse du corps dans la marche aux rythmes 55 à 65.

Les ordonnées représentant le travail en kilogrammètres sont à la même échelle que dans la figure précédente.

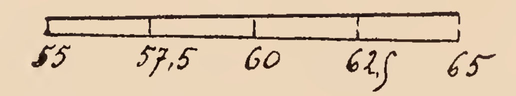


Fig. 547. — Travail dépensé dans l'oscillation du membre levé aux rythmes 55 à 65 pas à la minute.

Les ordonnées représentent le travail en kilogrammètres et sont à l'échelle de la figure précédente.

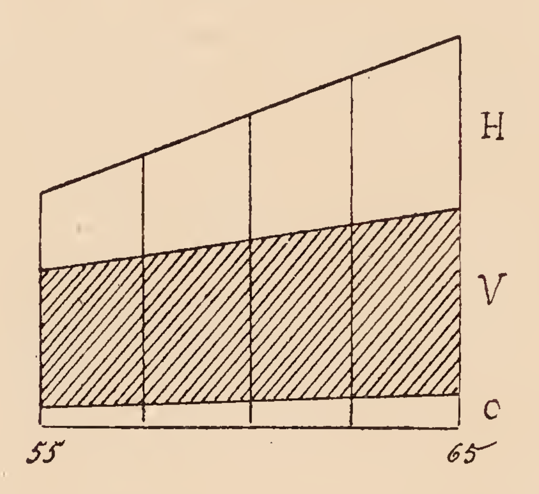


Fig. 548. — Travail total dans un pas aux rythmes de 55 à 65 pas à la minute.

On a ajouté bout à bout les ordonnées correspondant au travail horizontal H, au travail vertical V et au travail dû à l'oscillation du membre inférieur O, obtenu précédemment. (Échelle des figures précédentes).

Cadences de 55 a 65 pas a la minute. — Dans une seconde série d'expériences, j'ai repris les calculs pour les allures marchées avantageuses, c'est-à-dire pour les cadences de 55 à 65 pas à la minute et j'ai cherché à trouver les manières économiques de franchir les distances. Voici les résultats de ces observations :

Sujet, taille $1^m,66$.

Longueur du membre inférieur jusqu'à terre et chaussé $0^m,88$.

Longueur des segments : cuisse 39 centimètres, jambe et pied 49 centimètres.

Hauteur du centre de gravité au-dessus du sol $0^m,945$.

Poids du corps, 64 kilogrammes.

Masse du corps, 6,524.

Poids du membre inférieur, 8 kilogrammes.

Masse — — 0,815

1. *Travail suivant la verticale.*

Réactions verticales en millimètres (fig. 544). —	Travail suivant la verticale (limite inférieure).
	kilogm.
Cadence 55	2,560
— 57,5	2,88
— 60	3,072
— 62,5	3,328
— 65	3,520

2. *Travail suivant l'horizontale* (fig. 545 et 546).

CADENCE	VITESSE MOYENNE de progression à la seconde de la masse du corps pendant l'appui du pied.	VARIATION ABSOLUE de la vitesse pendant l'appui.	DEMI-VARIATION de force vive pendant l'appui.
			Kgm
55	$V = 1,486$	$d = 0^m,15$	$mVd = 1,45$
57,5	1,513	$0^m,185$	1,82
60	1,543	$0^m,225$	2,45
62,5	1,565	$0^m,26$	2,94
65	1,666	$0^m,305$	3,31

3. *Travail dépensé dans l'oscillation du membre levé* (fig. 547).

CADENCE	Durée de l'oscillation libre du membre inférieur.	Longueur du pendule simple correspondant.	Durée du demi-pas.	Durée du double appui.	Durée de l'oscillation du membre inférieur	Accroissement correspondant d'accélération.	Accroissement théorique du poids.	Hauteur de chute de la masse de la jambe.	Travail en kilogrammètres.
		mètre.							kgm
55	0″576	0,332	0″545	0″082	0,46	5,57	4,53	0,055	0,24
57,5	»	»	0″521	0″08	0,44	6,99	5,66	»	0,31
60	»	»	0″5	0″077	0,42	8,64	6,99	»	0,38
64,5	»	»	0″479	0″074	0,40	10,53	8,52	»	0,46
65	»	»	0″461	0″07	0,39	11,59	9,33	»	0,51

Travail total dans un pas en kilogrammètres (fig. 548).

CADENCE	VALEUR minimum.	VALEUR moyenne.	VALEUR maximum.
55	4,23	6,23	8,46
57,5	5,01	7,51	10,02
60	5,90	8,85	10,80
62,5	6,72	10,08	13,44
65	7,34	11,01	14,68

Valeur du travail à l'heure et au kilomètre.

CADENCE	NOMBRE de pas à l'heure.	LONGUEUR du pas.	VITESSE de progression.	NOMBRE de pas au kilomètr.	TRAVAIL	
					à l'heure.	au kilom.
55	3 300	1,52	5 016	657	20 559	4 093
60	3 600	1,55	5 580	645	32 860	5 708
65	3 900	1,60	6 240	625	42 939	6 881

APPLICATIONS

Économie obtenue par alternance de marche, de course et de halte. — Il y a une infinité de manières de parcourir une étape, on réalise une économie sérieuse au moyen d'alternance de marche et de course convenablement choisies.

1re *manière*. Étape d'une heure.

40 minutes de	marche au rythme	60	parcours	3.240m	en 2.400 pas.
10 —	course	— 100	—	1.800m	en 1.000 pas.
10 —	repos.				

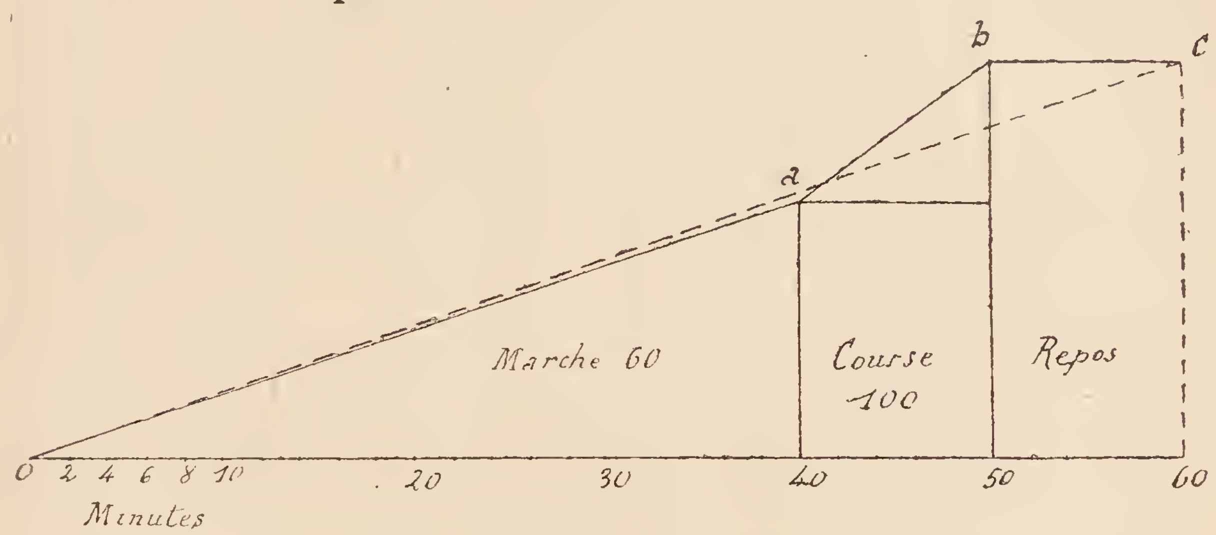


Fig. 549. — Manière de parcourir 5.040 mètres à l'heure au moyen de 40 minutes de marche, 10 minutes de course et 10 minutes de repos.
Vitesse moyenne OC correspondant à une marche continue au rythme de 65 pas à la minute.

Vitesse réalisée : 5 040 mètres à l'heure ce qui correspondrait au rythme 65 environ sans aucun repos (fig. 549) et à 3 900 pas.

Travail dépensé approximativement à l'heure.	88.600 kgm.
Travail dépensé en marchant uniformément au rythme 65	98.124 —
Économie réalisée (fig. 550).	9.524 —

Travail dans un pas de marche au rythme		60.	24,7
—	—	65.	25,16
—	course	100.	29,32

2e *Manière*. — Vitesse obtenue 5.638 m. à l'heure, correspondant à un rythme de 67,5 et à 4.050 pas (fig. 551).

17 minutes de	marche au rythme	60.	1.020 pas.
8 —	course —	100.	800 —
17 —	marche —	60.	1.020 —
8 —	course —	100.	800 —
10 —	de repos.		

Travail approximatif à l'heure. . . . . 97.300 kgm.
Espace parcouru. . . . . 5.638 mètres.
Travail dépensé en marchant uniformément au rythme 67,5 pour la même distance parcourue. . . . . 101.979 kgm.

Économie réalisée (fig. 552) . . 4.679 kgm.

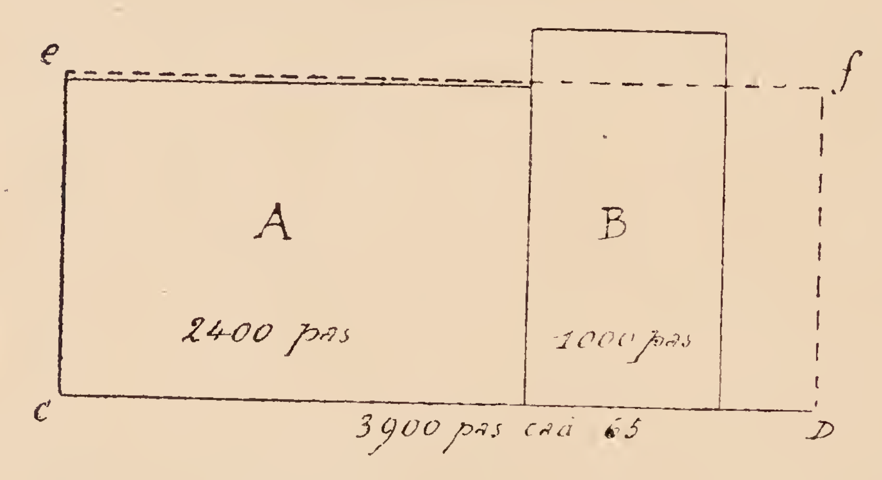


Fig. 550. — Travail dépensé approximativement dans l'étape ci-dessus, le rectangle *c d e f* pointillé représente le travail qui serait dépensé en marchant uniformément à la cadence 65.

A, surface correspondant à 2.400 pas de marche au rythme 60 ; **B** à 1.000 pas de course à la cadence 100.

Travail dans un pas de	marche au rythme	60	24,7
—	— —	67,5	25,98
—	course —	100	29,32

Influence du terrain et de la résistance de l'air. — Si le terrain monte ou descend, s'il est meuble, s'il y a du vent tous ces résultats peuvent être modifiés et c'est à l'expérience d'en déterminer les écarts.

Ainsi dans une montée ou dans une descente les lois du rythme sont changées, le pas est plus long en montée qu'en descente et bien que le travail résistant de la descente soit équivalent au travail moteur de la montée, celle-ci est toujours plus pénible et amène plus de désordre dans la respiration, l'attitude penchée en avant y est pour quelque chose, mais il y a cer-

tainement d'autres éléments qui nous échappent, peut être le moment d'action des muscles est-il moins favorable dans la montée, dans la descente le poids du corps suffit à commencer

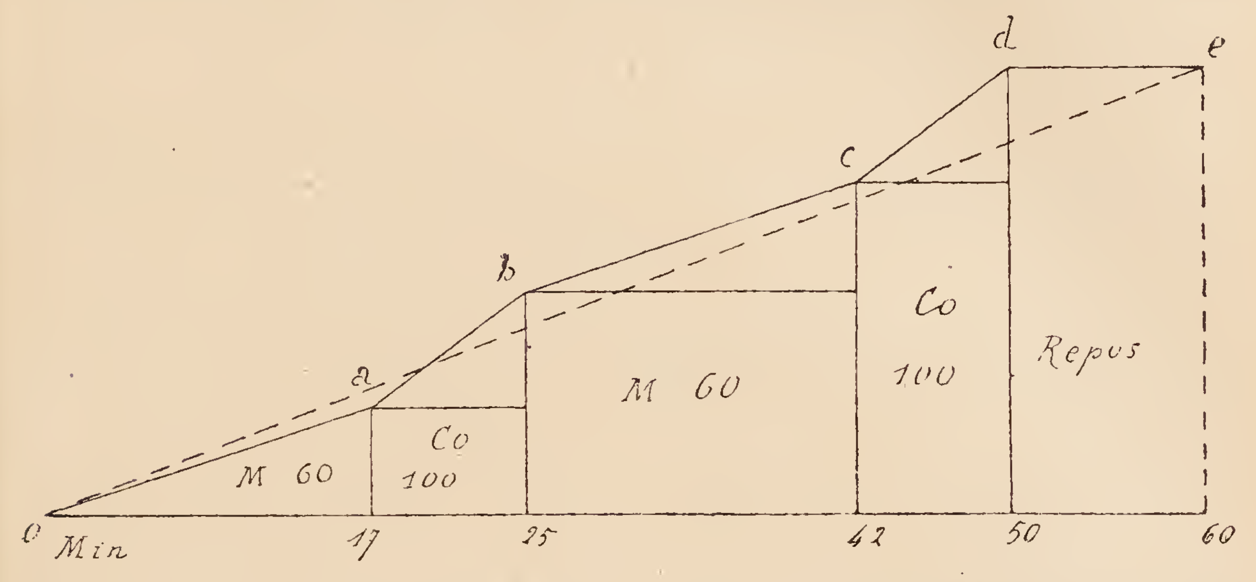


Fig. 551. — Manière économique de parcourir 5.630 mètres à l'heure en marchant 17 minutes au rythme 60 ; en courant 8 minutes au rythme 100, en répétant cette allure et en se reposant 10 minutes, ce qui correspondrait à une marche continue au rythme 67,5 avec la vitesse uniforme *o e*.

le mouvement, les muscles n'interviennent que pour ralentir la chute et la jambe qui se porte en avant pour recevoir le poids

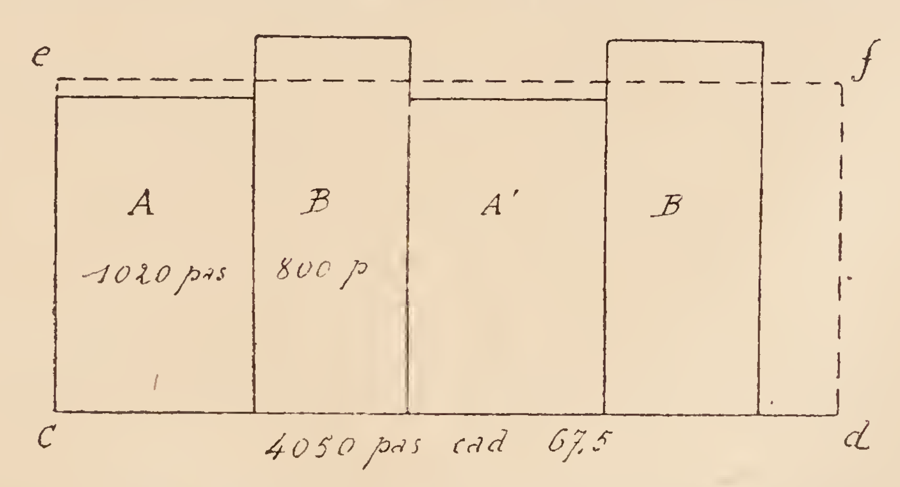


Fig. 552. — Travail dépensé approximativement dans l'étape ci-dessus. A, B, travail correspondant à la marche et à la course ; A' B', id. ; *cdef*, travail qui serait dépensé au rythme 67,5 en marchant d'une façon continue.

Ces nombres se rapportent à un sujet de $1^m,67$, du poids de 67 kilog. — Il ne faut considérer que leur valeur relative.

du corps peut agir sans grande dépense si elle est étendue, tandis que pour monter il faut un effort sérieux et alternatif des deux jambes. De plus, dans le travail résistant de la descente, les muscles font un travail négatif, ils sont contractés en s'allon-

geant, ce qui facilite la circulation dans leur tissu. J'ai indiqué plus haut à propos de la marche ascendante que l'essoufflement ne se produit pas dans la descente, peut-être faut-il l'attribuer à l'observation précédente.

Si le sol s'écrase sous le pied, il y a une déperdition de travail due au déplacement de la matière du chemin. Cette déperdition se mesurerait par l'effort nécessaire à écraser la terre multipliée par l'enfoncement de l'empreinte du pied (fig. 334).

Le vent a une action positive ou négative s'il est d'arrière ou debout; de côté il gêne l'équilibre du corps. Le vent modifie considérablement la vitesse de progression et l'attitude du corps.

Travail dans les sauts avec élan. — Le travail dans un saut avec élan s'évalue de la même manière que le travail pendant la course. Le travail total est la somme des travaux suivant la verticale et suivant l'horizontale.

Un saut avec élan, nous l'avons vu, consiste dans une course préalable destinée à faire acquérir au corps une vitesse considérable. Au moment de l'appel du pied, cette vitesse change de direction et de valeur, surtout dans le saut en hauteur où la jambe fait du travail résistant pendant l'appel.

Le corps s'élève à une certaine hauteur pendant qu'il progresse horizontalement avec la vitesse acquise à la fin du coup de jarret. Le travail se mesure donc comme il suit :

$$\text{Travail vertical} = \text{PH}$$
$$\text{Travail horizontal} = \frac{1}{2} m \left(V_1^2 - V_0^2\right).$$

Ces données se rapportent au centre de gravité du corps avant et après le coup de jarret.

Il serait juste d'y ajouter la force vive du corps acquise pendant la course qui précède le saut, alors le travail horizontal serait égal à la force vive du corps après le coup de jarret, et de compter le travail résistant de la chute égal au travail moteur.

$$\text{Travail total} = 2\left(\text{PH} + \frac{1}{2} m \left(V_1^2 - V_0^2\right)\right)$$

Pour un saut d'un mètre chez un sujet pesant 64 kilogrammes et après une course de 6 mètres à la seconde.

On aura :

Travail vertical	$= 64 \times 2 =$	128 kgm.
Travail horizontal	$= 6{,}52 \times 36 =$	234 —
Total. . . .		362 kgm.

Ceci nous suffit pour nous montrer combien la dépense de travail est considérable dans le saut, l'exemple choisi est en effet un petit saut.

Dans un balancement à la suspension on pourrait considérer 1° le saut initial qui élève le centre de gravité du corps de poids P à la hauteur h et qui demande le travail Ph ; 2° le saut final demandant un travail résistant égal au précédent soit 2 Ph.

L'oscillation est obtenue par le travail de la pesanteur et il resterait à évaluer le travail nccessaire pour produire le changement d'attitude ou la déformation du corps, ceci n'est guère commode.

Traction d'une voiture sur une route. — La traction d'une voiture sur une route bien plane et bien horizontale est très

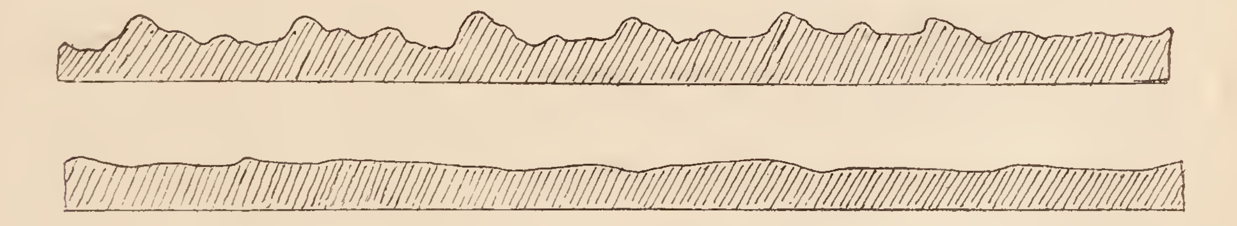


Fig. 553. — Surfaces représentant le travail dépensé dans la traction d'une voiture avec un trait rigide A et avec un trait élastique B.

On voit dans la figure supérieure les à-coup indiquant les variations de l'effort exercé par le cheval sur la voiture. Dans la traction élastique les à-coup ont disparu.

favorable à l'action d'un moteur continu comme le vélocipède mais lorsqu'on y attelle un homme ou un cheval, l'utilisation de la force n'est pas parfaite si l'on ne prend pas certaines précautions.

La progression de l'homme est variée, à chaque pas les traits de la voiture se tendent et se relâchent, de là des chocs perdus parce que la voiture ne possède qu'un moment très court la même vitesse que l'homme. La vitesse tend à être uniforme mais l'homme va tantôt plus vite, tantôt plus lentement que la voiture.

M. Marey a depuis longtemps constaté l'avantage de relier les animaux à leur voiture par des traits élastiques, on utilise plus de 25 p. 100 du travail perdu sans cela dans les chocs.

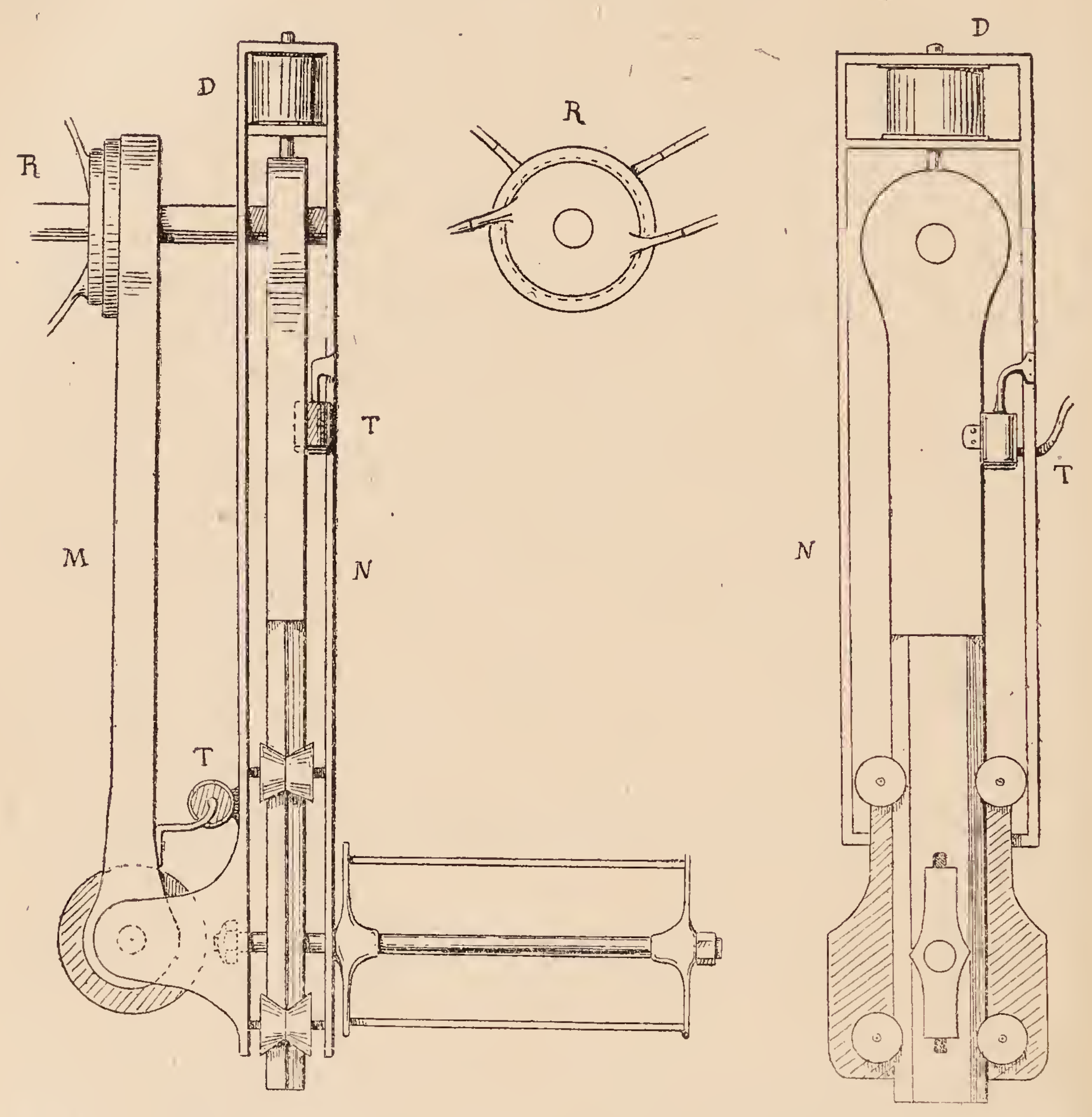


Fig. 554. — Manivelle dynamographique pour mesurer le travail dans le vélocipède (Demeny).

La manivelle motrice M est entraînée par une seconde N portant la pédale. Tout appui du pied sur la pédale se traduit par une pression axiale et une pression tangentielle écrasant les disques de caoutchouc D et actionnant de petites pompes à air T qui communiquent avec les tambours enregistreurs. R est une boîte à air où s'adaptent, sans être entraînés par la rotation de l'axe, les tubes de transmission.

Dans des expériences reprises depuis sur ces données nous avons constaté que les aires proportionnelles au travail pour le même chemin parcouru par une victoria attelée élastiquement ou avec des traits rigides sont dans le rapport de 87 à 100 sur un terrain horizontal d'assez bonne composition (fig. 553). On voit dans les courbes de l'effort disparaître dans le premier cas les à-coups correspondant à chaque traction du cheval au trot.

Avantage du vélocipède et mesure du travail. — L'avantage du vélocipède consiste à éviter également ces à-coups et à se rapprocher d'un mouvement rectiligne et uniforme. Mais cet idéal n'est jamais atteint d'une façon parfaite, le coup de pédale se fait toujours sentir et le travail nécessaire pour entretenir la vitesse de la machine ne peut se déterminer que par expérience.

J'ai construit à cet effet, il y a longtemps déjà, une manivelle dynamographique spéciale s'adaptant à un tricycle et donnant à chaque instant l'effort diamétral et l'effort tangentiel du pied sur la pédale et pendant la marche (fig. 554 et 555).

La pédale était fixée à une glissière permettant un mouvement dans le sens de son axe et la manivelle motrice était entraînée par contact indirect avec la pédale. Entre la pédale et la manivelle des disques de caoutchouc très résistants étaient placés et, comme dans la disposition que j'avais employée dans le dynamographe, ils étaient chargés, en s'écrasant, de réduire le mouvement de la pédale soit dans le sens tangentiel soit dans le sens diamétral.

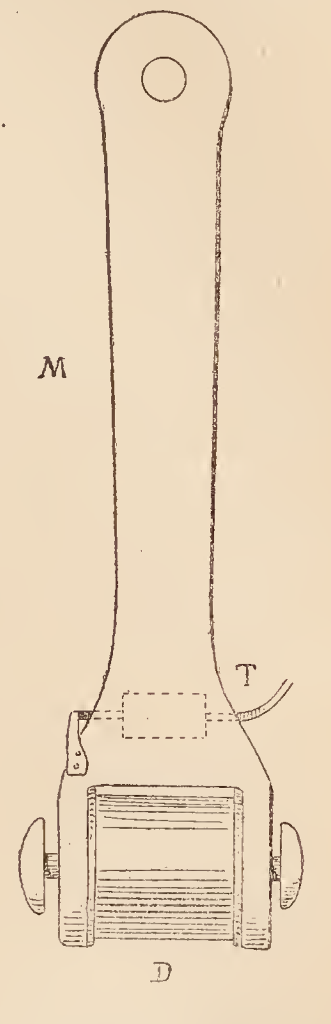


Fig. 555. — Manivelle dynamographique.

Partie destinée à explorer la pression tangentielle du pied sur la pédale

Cet écrasement actionnait deux petites pompes à air et de là se transmettait à deux tambours enregistreurs construits spécialement. L'inscription de ces efforts tangentiel et diamétral se faisait sur un cylindre enregistreur actionné par la roue du vélocipède et tournant ainsi en fonction du chemin parcouru. Les aires correspondantes de chaque tracé étaient proportionnelles aux travaux élémentaires, leur somme donnait le travail total pour une distance parcourue.

Des dispositions spéciales permettaient de faire communiquer les tambours inscripteurs avec les manipulateurs malgré la rotation de la manivelle ce qui empêchait la continuité dans les tubes de transmission.

Ces recherches ont été interrompues à cause des frais considérables qu'elles nécessitaient, mais elles devraient être reprises vu l'intérêt qu'elles présentent.

Toutes les recherches précédentes constituent de consciencieux efforts pour se rendre exactement compte des faits naturels et en déterminer les lois.

Il faut bien entendu les continuer longtemps et les poursuivre si l'on veut arriver jusqu'à l'application pratique.

Dans celle-ci on envisage seulement les résultats obtenus sans savoir quelquefois comment on les obtient. C'est une erreur. Le progrès consiste justement à établir des liens entre les moyens et le but proposé. On ne peut y arriver autrement que par l'observation et l'analyse rigoureuse des faits. Il n'y a pas de méthode sans cela.

Voici quelques résultats pratiques constatés dans différentes épreuves dont il ne reste pas d'autres traces. Ce sont des maximum de vitesse obtenus par divers moyens de locomotion.

Vitesses comparées des divers moyens de locomotion :

Locomotive sur rail.	1 kil. en 31 secondes. .	115.850	à l'heure.
Traîneau à voiles . .	1 — 43 —	82.750	—
Cheval de course . .	» — 59″ 1/3 . . .	60,6	—
Torpilleurs.		52.660	—
Cheval au trot	1 kil. en 1′19″. . . .	45.360	—
Yacht à vapeur.		43.745	—
Patineur sur glace avec vent arrière.		42.730	—
Paquebot transatlantique		41.375	—
Bateau à rames		17.035	—

Ces chiffres sont le résultat d'épreuves individuelles dans des records (voir le tableau ci-après). Ils diffèrent notablement dans le cas de marches collectives ou de marches en troupe dont nous allons donner quelques exemples.

Marche en troupe. — 1re *expérience :*

Marche exécutée par les membres du Cercle de gymnastique rationnelle en mai 1885 40 kilomètres en 8 heures et demie. Observations recueillies par M. Passerieu, 1re étape, station d'Asnières au moulin de Sannois, 9 km,7, 1 h. 51 m, les 4 k,7,

MAXIMA ET MOYENNES	MAXIMA	MOYENNES
Vitesse de la marche à l'heure	10 km. 833	6 kil.
Course de vélocité; m. à la seconde . .	10 m.	5 m.
Course de fond; km. à l'heure	18 km. 555	10 kil.
Vélocipède, record de l'heure et record	75 kilom.	35 kil.
de la distance	2.258 k. en 100 h.	
Natation.	3 km. 8	2 kil.
Grimper avec les mains, hauteur d'élévation.	16 m	12 m.
Longueur du saut, de pied ferme . . .	3 m. 30	2 m. 50
— — avec élan	7 m. 18	6 m. 25
— — avec la perche. . .	8 m. 25	7 m.
Hauteur du saut, de pied ferme. . .	1 m. 61	1 m. 35
— — avec élan.	2 m. 02	1 m. 60
— — avec la perche. . .	3 m. 57	2 m. 90
Profondeur du saut	4 à 5 m.	
Distance pour lancer une pierre, 7 k.258.	14 m. 50	10 m.
— lancer le disque.	36 m. 04	28 m.
— lancer le javelot.		
Poids soulevé avec les bras.	240 k.	
Nombre de fois de suite, 37 k. 1/2. . .	47	40
25.	d. 55 g. 34	d. 30 g. 20
Poids soulevé avec les jambes.	1.500 à 2.000kg.	

jusqu'au pont d'Argenteuil terrain uni; vitesse 92 mètres à la minute, rythme 62 à 63, longueur du pas, 1,46.

Du pont d'Argenteuil au moulin de Sannois 1 heure de marche vitesse: 80 mètres à la minute, ralentissement sensible, pente assez prononcée dans les derniers 1700 mètres, cadence, 72.

Halte d'une heure. On atteint le fort de Cormeille en une heure, distance 4 kilomètres, mauvais état de la route, cadence, 66.

9 kilomètres suivants jusqu'à Conflans 1 h, 55, vitesse, 78 mètres à la minute, cadence, 60 à 62, longueur du pas, 1 m. 30.

A 3 heures et demie, nouvelle étape, Bougival et Saint-Germain, 17 kilomètres.

4 heures de marche pour Bougival et 3 petites haltes de 20 minutes. Vitesse, 75 mètres à la minute, cadences variées. En entrant à Saint-Germain, la cadence tombe à 57, 58 avec raccourcissement très marqué dans la longueur du pas.

On voit dans cette marche exécutée par des jeunes gens que,

sur un parcours de 40 kilomètres, la vitesse tombe après le vingt-troisième kilomètre de 92 à 78 et la longueur du pas de 1m,46 à 1m,30.

2e *expérience;* Août 1885 :

Marche exécutée par la société de gymnastique *Alsacienne-Lorraine,* de Paris, 55 gymnastes; sac au dos. Parcours en Normandie de Blangy à Dieppe en passant par Eu et le Tréport, 75 kilomètres en deux jours. La cadence de 63 fut toujours conservée.

Avant d'arriver à Dieppe, dans les dix derniers kilomètres, les sujets épuisés par la fatigue et la chaleur raccourcissaient le pas et accéléraient le rythme pour suivre leurs camarades. En arrivant à Dieppe on reprit la marche en corps à 63 pas à la minute.

3e *expérience;* Avril 1886 :

1re étape : d'Ablon à Corbeil par Villeneuve-Saint-Georges, Brunoy et la forêt de Sénart, 22 kilomètres ; 4 h. 18 minutes de marche et quatre haltes de 10 minutes ; 75 mètres à la minute et pas de 1m,24 pendant 2km,5 ; même allure pendant les 13 kilomètres suivants. Les 6km,5 derniers sont parcourus en 1 h. 5 minutes c'est-à-dire avec une vitesse de 100 mètres à la minute avec un rythme très précipité.

2e étape : de Corbeil à Villeneuve-Saint-Georges par la forêt de Sénart et Montgeron, 16km,5 en 3 h. 20 minutes, coupées par deux haltes de 15 minutes ; vitesse 82 mètres à la minute.

A la fin de cette marche la cadence tombe à 59 et les pas sont de 1m,38.

La fatigue a encore ici diminué la cadence, la longueur du pas et la vitesse ont augmenté ; l'impulsion donnée par le guide a été pour quelque chose dans cette augmentation finale.

4e *expérience :*

Société de gymnastique *Alsacienne-Lorraine* à Pâques 1886. Parcours 63 kilomètres, première journée de Bois-le-Roi à Montereau passant par Fontainebleau; 34 kilomètres.

Pendant les 6 premiers kilomètres faits en 1 heure, cadence 63 à 64 pas de 1m,58 ; allure maintenue pendant 10 kilomètres. Après Thomery, terrain accidenté ; chaleur et monotonie de la

route, parcours 10 kilomètres en 2 heures, cadence 65, longueur du pas 1m,26. Pour atteindre Montereau avant la nuit, 4 kilomètres en une 1/2 heure à un rythme très accéléré. Deuxième journée 29 kilomètres en 5 h. 20. Vitesse 90 mètres à la minute, cadence 62, longueur du pas 1m,44. Cette moyenne se conserve à la fin de la journée.

Ces expériences montrent que la cadence et la longueur des pas diminuent après un certain nombre de kilomètres si on laisse les marcheurs à leur allure naturelle.

Dans les marches en corps l'allure devient plus uniforme, la cadence se maintient mais on voit la vitesse et la longueur du pas diminuer.

5e *expérience :*

MARCHE MILITAIRE. — Marche exécutée le 10 décembre 1882, par les élèves de l'école gymnastique militaire de Joinville-le-Pont après 4 mois 1/2 d'entraînement aux exercices gymnastiques sous les ordres du commandant Bonnal.

Itinéraire : La Faisanderie, Nogent-sur-Marne, Neuilly-sur-Marne, Chelles, Brou, Pomponne, Lagny, Torcy, Champ, Noisy-le-Grand, Bry-sur-Marne, Joinville-le-Pont, La Faisanderie total 44 kilomètres.

Vêtement : Sac portant sur les deux épaules 8 kilogrammes; pantalon de toile, capote, fusil et cartouchières vides ; souliers et guêtres de cuir graissés avec du suif ; pieds enduits d'une composition de savon et d'eau-de-vie.

Soupe au lard mangée à 6 heures du matin ; on emporte lard, fromage, vin, pour être mangé à la grande halte.

Départ à 7 heures; beau temps, température + 6° centigrades, vent d'Est léger, grande halte à midi et demi après Torcy ; durée 1 heure.

Retour à La Faisanderie à 5 heures du soir.

Les hommes de la section en tête ont été le sujet d'observations qui suivent ; ils marchaient du même pied.

Nombre d'élèves 227, 28 caporaux et sergents moniteurs, 2 sergents majors, 4 adjudants, 1 lieutenant et 2 sous-lieutenants.

Aucun traînard, un seul homme s'est débarrassé de son sac

une heure avant d'arriver à la Faisanderie. Pas de malades le lendemain.

La marche s'est faite en 8 reprises de 50 minutes et 2 reprises de 30 minutes, savoir :

De 7 heures à 12 h. :	5 reprises	de	50	minutes.
De 12 h. à 12 h. 30 :	1	—	30	—
De 1 h. 30 à 4 h. 30 :	3	—	50	—
De 4 h. 30 à 5 h. :	1	—	30	—

Les sections placées en tête ont fait en moyenne 122 pas pour 100 mètres et ont parcouru cette distance en 63m,5.

La longueur moyenne du pas a été de 1m,64.

La cadence moyenne de 57,5 ; la vitesse moyenne de 94 mètres par minute.

Tableau par reprise de marche des moyennes des observations

REPRISES	HEURES	N° de la section observée.	NOMBRE de pas en 100 m.	TEMPS employé pour parcourir 100 m.	CADENCE	LONGUEUR du pas [1].	VITESSE par minute.	OBSERVATIONS
	heures.					mètres.	mètres.	
1	7-7,50	2e	119,50	64″	119	0,837	91,5	Pente du terrain.
2	8-8,50	4e	120,50	63″25	114,5	0,830	95	
3	9-9,50	3e	122,50	62″	118,7	0,816	96,8	
4	10-10,50	1re	124,20	63″20	118	0,805	95	
5	11-11,50	2e	121	61″	119	0,826	98,3	
6	12-12,30	4e	123	65″	113,5	0,813	92,3	Pente.
7	1,30-2,20	3e	124	64″5	113,8	0,806	91,7	Pente.
8	2,30-3,20	1re	123,6	65″7	112,7	0,810	91,3	Chant.
9	3,30-4,20	2e	120,5	62″25	116	0,830	96,3	
10	4,30-5	4e	122	64″	114	0,819	93,4	Pente,
	Moyenne.		122,08	63″49	115	81,92	94,16	

[1] Le pas est compté ici comme demi-pas.

La longueur du pas a très peu varié, mais la cadence s'est progressivement élevée depuis le départ jusqu'à midi, puis a décru jusque vers 3 h. 1/2 pour se relever un peu à la fin. La vitesse a suivi les variations de la cadence : au commencement allure modérée puis accroissement de la vitesse jusqu'à midi

(5 heures de marche), décroissance ensuite se maintenant dans la 6[e] reprise qui a suivi la grand'halte au moment où la digestion s'opère. Vers 4 heures le voisinage du gîte donne une recrudescence de vitesse.

Les pentes bien que faibles ont fait diminuer dans les montées

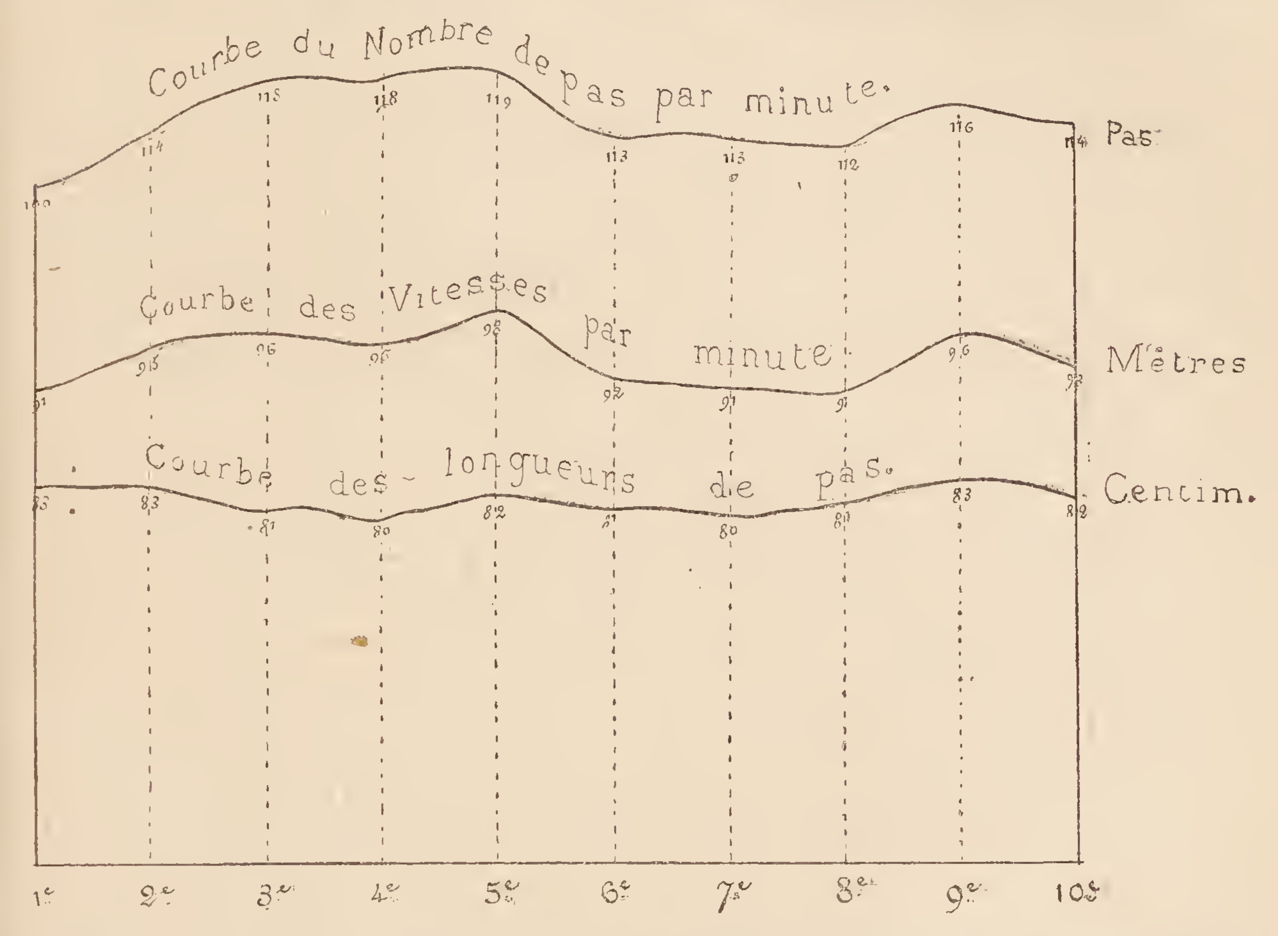


Fig. 556. — Marche militaire de 44 kilomètres. Variations de la longueur du pas, de la cadence et de la vitesse de progression pendant la durée de l'étape.

Les numéros portés en abscisses indiquent les reprises de marche de 50 minutes chacune. Les courbes correspondent au tableau de la page 490.

la longueur et la fréquence des pas. Le minimum de vitesse et de cadence s'est manifesté durant la 8[e] reprise (de 2 h. 30 à 3 h. 20) sous l'influence d'une légère descente et pendant l'exécution de chants par la section en tête de la colonne. Le chant dans les longs parcours aurait donc eu pour effet de diminuer le nombre des pas et la vitesse sans influencer sensiblement la longueur du pas. Le chant a pourtant une action entraînante mais ici son influence s'est exercée plutôt sur l'accentuation de la cadence que sur l'accélération de celle-ci.

La conclusions à tirer de cette expérience importante, c'est que sur bonne route et avec des conditions atmosphériques con-

venables, une troupe d'infanterie peut marcher à la cadence de 57,5 à 59 pas à la minute correspondant à une longueur de pas de 1m,60 et avec une vitesse de 92 à 95 mètres à la minute ou de 4 600 à 4 750 mètres en 50 minutes de marche effective. Ces excellents résultats sont dus à l'entraînement gymnastique quotidien.

6e *expérience :*

INFLUENCE DE LA GYMNASTIQUE ET DE L'ENTRAINEMENT SUR LA MARCHE. — Cette influence se manifeste encore dans un concours de marche organisé par l'Association des Sociétés de gymnastique de la Seine; 242 gymnastes représentant 21 Sociétés associées ont pris part à ce concours. La distance à parcourir était de 35 kilomètres.

La durée a été de 3 h. 49, 3 h. 47, 3 h. 57 pour les vainqueurs de 4 h. 1/2 en moyenne pour les autres.

Ces résultats dépassent la moyenne ordinaire des sujets non exercés.

7e *expérience :*

INFLUENCE DE LA FATIGUE. — La longueur du pas diminue avec la fatigue dans le cas suivant : piste de 512m,5.

1 tour de piste au pas cadencé, 257 pas en 4',50"; au départ la longueur du pas était 2m,06, à l'arrivée elle n'est plus que de 2 mètres.

1 tour de piste au pas accéléré 284 pas en 3',21", au départ la longueur du pas 2 mètres à l'arrivée 1m,76.

La raison de cette diminution tient à ce que le sujet en expérience n'était pas dans des conditions normales; il exagérait d'une part sa longueur de pas, d'autre part sa cadence, et ne pouvait continuer ainsi.

8e *expérience :*

LONGUEUR DU PAS POUR DES TAILLES DIFFÉRENTES ET DES ALLURES VARIÉES. — Dans l'expérience suivante on peut comparer sur un parcours de 80 mètres les différences de longueur de pas chez deux hommes de taille différentes et dans différentes allures

Chez le sujet de petite taille la longueur du pas a toujours été inférieure à celle du plus grand, mais la vitesse dans les allures marchées a été néanmoins plus grande. Le contraire s'est passé dans les allures courues.

1er *sujet;* taille 1m,68, 22 ans. Distance 80 mètres.

	NOMBRE de posers du pied droit.	TEMPS employé.	DURÉE du pas.	LONGUEUR du pas.	VITESSE
Pas de route. . .	45	42″5	0″95	1m,77	1,88
Pas accéléré. . .	40,5	34	0″88	1m,97	2,35
Pas de charge. .	39,5	28,2	0″72	2m,25	2,83
Pas gymnastique modéré. . . .	34	23.5	0″69	2m,35	3,40
Pas gymnastique accéléré. . . .	27,5	17	0″62	2m,91	4,70
Course modérée.	24,5	15	0″61	3m,22	5,33

2e *sujet;* taille 1m,54, 22 ans. Distance 80 mètres.

	NOMBRE de posers du pied droit.	TEMPS employé.	DURÉE du pas.	LONGUEUR du pas.	VITESSE
Pas de route. . .	47	40″	0,85	1m,70	2
Pas accéléré. . .	43	30″	0,70	1m,86	2,66
Pas de charge. .	40	26″	0,65	2	2,07
Pas gymnastique modéré. . . .	37	24″	0,64	2m,12	3,33
Pas gymnastique accéléré. . . .	29	18″	0,62	2m,75	4,4
Course modérée.	25	14″	0,56	3m,20	5

9e *expérience :*

Marches militaires. — Les conditions de la locomotion varient pour l'individu isolé ou chez le soldat faisant partie d'un groupe ou d'une unité de plus en plus importante. La masse et la vitesse sont toujours les deux éléments essentiels à considérer au point de vue militaire dans le mouvement d'une unité importante, mais au point de vue physiologique l'étude de l'individu doit précéder l'étude du groupe. Il faut pour se renseigner à ce sujet faire de nombreuses expériences.

M. le capitaine Harmand, Ce instructeur à l'école de Joinville-le-Pont, a eu l'amabilité de nous communiquer les résultats de ses observations; nous les reproduisons textuellement ci-après.

LEVRON, $1^{m}79$.

Une marche par jour à 6 h., 30 du matin : Parcours, 2 kilom. ; Pente du terrain, 4 à 5 p. 100 ; Le buste presque droit, la jambe un peu raidie.	POULS		RESPIRATION		NOMBRE DE PAS par 100 m.		
	Départ.	Arrivée.	Départ.	Arrivée.	En plaine.	Montée.	Descente.
Première marche, le kilomètre en 10 minutes.							
Sans équipement	76	84	24	28	120	128	122
Avec arme et équipement	76	76	24	30	126	128	123
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	64	72	24	28	127	126	125
Chargement d'exercice.	76	80	24	28	124	128	123
Vivres du sac	72	84	24	32	126	127	123
Chargement de campagne	76	80	24	32	123	128	123
Deuxième marche, le kilomètre en 9 m. 30 s.							
Sans équipement	64	72	24	32	120	120	114
Avec arme et équipement	68	80	24	28	123	122	120
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	68	72	20	32	123	124	120
Chargement d'exercice.	68	80	24	32	118	123	118
Vivres du sac	80	92	24	32	122	123	120
Chargement de campagne	80	92	24	32	122	125	119
Troisième marche, le kilomètre en 9 minutes.							
Sans équipement	76	84	20	28	112	117	110
Avec arme et équipement.	80	88	24	28	118	124	116
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	76	88	24	28	118	122	117
Chargement d'exercice.	76	88	24	32	116	121	114
Vivres du sac	80	96	24	36	118	123	117
Chargement de campagne	76	92	24	32	120	125	119
Quatrième marche, le kilomètre en 8 m. 30 s.							
Sans équipement	72	80	24	28	116	118	112
Chargement complet.	76	92	24	36	115	118	123

BAUDINOT, 1^m66.

MÊMES CONDITIONS D'EXPÉRIENCE	POULS Départ.	POULS Arrivée.	RESPIRATION Départ.	RESPIRATION Arrivée.	NOMBRE DE PAS par 100 m. En plaine.	NOMBRE DE PAS par 100 m. Montée	NOMBRE DE PAS par 100 m. Descente.
Première marche, le kilomètre en 10 minutes.							
Sans équipement	64	68	20	24	122	130	120
Avec arme et équipement	76	76	20	24	125	130	123
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	72	84	20	24	128	130	124
Chargement d'exercice.	76	84	20	28	122	126	120
Vivres du sac.	72	88	20	28	125	127	122
Chargement de campagne	76	80	20	28	124	128	122
Deuxième marche, le kilomètre en 9 m. 30 s.							
Sans équipement	76	88	20	24	124	128	122
Avec arme et équipement	72	84	20	24	118	122	117
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	68	84	20	24	119	123	117
Chargement d'exercice.	80	88	20	24	118	122	116
Vivres du sac	76	96	20	28	121	124	118
Chargement de campagne	80	92	20	28	120	125	117
Troisième marche, le kilomètre en 9 minutes.							
Sans équipement	76	84	20	24	110	109	108
Avec arme et équipement	76	88	20	24	112	118	113
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	80	92	20	24	116	118	112
Chargement d'exercice.	76	96	20	28	114	116	110
Vivres du sac	72	88	20	32	114	117	114
Chargement de campagne	76	96	24	28	117	119	114
Quatrième marche, le kilomètre en 8 m. 30 s.							
Sans équipement	68	80	20	22	109	110	106
Chargement complet.	72	96	22	32	110	113	111

HALLOIN, $1^{m}52$.

MÊMES CONDITIONS D'EXPÉRIENCE	POULS		RESPIRATION		NOMBRE DE PAS par 100 m.		
	Départ.	Arrivée.	Départ.	Arrivée.	En plaine.	Montée.	Descente.
Première marche, le kilomètre en 10 minutes.							
Sans équipement	52	72	20	24	124	132	130
Avec arme et équipement	56	76	20	24	123	134	125
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	60	68	20	28	128	138	131
Chargement d'exercice.	60	84	20	28	127	132	130
Vivres du sac	60	72	20	28	128	132	126
Chargement de campagne	56	88	20	28	126	130	126
Deuxième marche, le kilomètre en 9 m. 30 s.							
Sans équipement	48	60	24	26	124	127	125
Avec arme et équipement	60	80	20	24	124	130	126
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	56	84	20	24	124	128	122
Chargement d'exercice.	64	108	24	32	124	126	124
Vivres du sac	84	112	24	28	124	127	123
Chargement de campagne	76	114	24	32	124	130	124
Troisième marche, le kilomètre en 9 minutes.							
Sans équipement	64	72	20	24	117	120	121
Avec arme et équipement	64	92	20	24	123	128	121
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	64	104	20	28	124	128	122
Chargement d'exercice.	60	104	24	32	122	126	120
Vivres du sac	68	112	24	32	123	128	124
Chargement de campagne	68	96	24	32	123	128	123
Quatrième marche, le kilomètre en 8 m. 30 s.							
Sans équipement	72	104	24	28	123	126	120
Chargement de campagne	64	112	20	28	124	126	124

VIGNE, $1^{m}62$.

MÊMES CONDITIONS D'EXPÉRIENCE	POULS		RESPIRATION		NOMBRE DE PAS par 100 m.		
	Départ.	Arrivée	Départ.	Arrivée.	En plaine.	Montée	Descente.
Première marche, le kilomètre en 10 minutes.							
Sans équipement	72	72	24	28	126	128	122
Avec arme et équipement	80	80	24	28	126	130	124
8 paquets de cartouches 74, sac vide	80	76	24	28	126	128	124
Chargement d'exercice	80	84	24	28	124	128	122
Vivres du sac	80	78	28	28	127	129	124
Chargement de campagne	72	84	20	28	125	126	122
Deuxième marche, le kilomètre en 9 m. 30 s.							
Sans équipement	76	80	20	28	117	122	114
Avec arme et équipement	76	76	24	28	122	120	120
8 paquets de cartouches 74, sac vide	72	80	20	24	120	124	120
Chargement d'exercice	68	84	20	24	118	122	116
Vivres du sac	68	92	20	28	122	126	120
Chargement de campagne	68	84	20	32	122	126	118
Troisième marche, le kilomètre en 9 minutes.							
Sans équipement	80	88	24	28	112	116	112
Avec arme et équipement	72	84	24	24	119	122	116
8 paquets de cartouches 74, sac vide	72	92	20	28	119	120	117
Chargement d'exercice	76	88	24	32	117	122	115
Vivres du sac	68	88	24	32	119	122	116
Chargement de campagne	»	»	»	»	»	»	»
Quatrième marche, le kilomètre en 8 m. 30 s.							
Sans équipement	»	»	»	»	»	»	»
Chargement de campagne	»	»	»	»	»	»	»

GIRARDIN, 1m65.

MÊMES CONDITIONS D'EXPÉRIENCE	POULS		RESPIRATION		NOMBRE DE PAS par 100 m.		
	Départ.	Arrivée.	Départ.	Arrivée.	En plaine.	Montée.	Descente.
Première marche, le kilomètre en 10 minutes.							
Sans équipement	80	80	24	28	126	132	124
Avec arme et équipement	76	80	24	28	124	128	126
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	68	84	28	32	127	132	128
Chargement d'exercice.	64	88	28	32	123	130	126
Vivres du sac	76	80	24	32	130	130	125
Chargement de campagne	76	88	24	28	125	129	124
Deuxième marche, le kilomètre en 9 m. 30 s.							
Sans équipement	64	68	24	32	122	122	118
Avec arme et équipement	72	80	24	28	124	122	119
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	72	80	24	28	120	123	119
Chargement d'exercice.	72	96	24	28	119	121	118
Vivres du sac	68	92	20	24	123	128	121
Chargement de campagne	76	96	24	28	122	126	120
Troisième marche, le kilomètre en 9 minutes.							
Sans équipement	72	80	20	24	113	118	113
Avec arme et équipement	72	88	24	28	118	120	118
8 paquets de cartouches 74, sac vide. .	80	96	24	28	124	126	118
Chargement d'exercice.	80	96	24	32	117	120	116
Vivres du sac	68	96	24	28	117	117	117
Chargement de campagne	68	96	20	32	120	120	118
Quatrième marche, le kilomètre en 8 m. 30 s.							
Sans équipement	68	96	20	24	116	114	112
Chargement de campagne	72	96	24	32	116	120	115

Toutes ces marches ont été effectuées le matin à 6 h. 30, à raison d'une par jour. Elles comportaient 2 kilomètres seulement, la pente était environ de 4 à 5 p. 100. L'attitude générale de la marche était le buste presque droit, la jambe un peu raidie.

10e EXPÉRIENCE, PAR M. LE CAPITAINE HARMAND

1° Entraînement progressif à la marche le corps incliné, la jambe fléchie naturellement ;

2° Vitesse habituelle en tenue d'exercice avec le sac.

Entraînement de la Compagnie d'Infanterie à la marche.
Effectif moyen : 150 *hommes, gradés compris.*

SEMAINES	VITESSE DE MARCHE AU KILOMÈTRE			
	PRÉVUES		RÉALISÉES	
	Pas accéléré.	Pas de route.	Pas accéléré.	Pas de route.
20 au 25 novembre 1899 . .	10′	10′30″	10′	11′
27 novembre au 2 décembre.	10′	10′15″	9′40″	10′30″
4 au 9 décembre	10′	10′15″	9′30″	10′30″
11 au 16 décembre	9′30″	10′	9′	10′
18 au 23 décembre.	9′	9′30″	8′45″	9′
25 au 30 décembre	8′30″	9′	8′15″	8′45″
8 au 13 janvier 1900	8′15″	8′45″	8′15″	8′25″
15 au 20 janvier.	8′15″	8′45″	8′20″	8′30″
22 au 27 janvier.	8′15″	8′45″	8′10″	8′30″
29 janvier au 3 février. . .	8′	8′30″	8′10″	8′10″
5 au 10 février.	8′	8′30″	8′5″	8′10″
12 au 17 février.	8′	8′30″		
19 au 24 février.	7′45″	8′15″	8′5″	8′10″
26 février au 4 mars. . . .	7′45″	8′15″	8′5″	8′10″
5 au 10 mars	7′45″	8′15″	8′	8′15″
12 au 17 mars.	7′45″	8′15″	8′	8′15″

RENSEIGNEMENTS SUR DIVERSES MARCHES DE COMPAGNIE

18 janvier 1900.

Distance. — 10 km. 500.

État de la route. — Route boueuse, caillouteuse, flaques d'eau, moyennement accidentée.

Température. — Temps couvert, vent debout à la rentrée — 7 à 8° au-dessus de zéro.

Tenue. — De campagne. Anciens, complet. Jeunes, le linge seulement.

Durée totale de la marche. — 1 h. 42′ dont une pause de 11′ 30″.
Durée effective. — 1 h. 29′ 30″.
Vitesse moyenne de marche. — 5 km. 830 en 50′; le km. en 8′ 34″.
Etat à la rentrée. — Bon.
Observations générales. — Un peu d'essoufflement, cadence trop rapide 125 à 128. La marche n'est pas encore assez souple, la jambe se raidit, le corps ne s'incline pas suffisamment en avant, surtout pour les anciens.

24 janvier 1900.

Distance. — 15 km. 900.
État de la route. — Route boueuse, caillouteuse, accidentée.
Température. — Pluie, vent 5 à 6° au-dessus de zéro.
Tenue. — De campagne. Anciens, complet. Jeunes, linge, veste et 3 paquets.
Durée totale. — 2 h. 35′ dont 20 minutes de repos en 2 pauses.
Durée effective. — 2 h. 15′.
Vitesse moyenne de marche. — 5 km. 888 en 50′ ; le km. en 8′30″.
État à la rentrée. — Très bon.
Observations générales. — Un peu d'essoufflement, allure excellente, 115 à 125 pas longs.

1re *Pause.*		2e *Pause.*		3e *Pause.*	
1 km.	9′20″	1 km.	9′15″	1 km.	8′25″
2 km.	8′55″	2 km.	8′40″	2 km.	8′35″
3 km.	8′35″	3 km.	8′15″	3 km.	7′47″
4 km.	8′50″	4 km.	8′10″	4 km.	7′33″
5 km.	9′5″	5 km.	8′10″	0 km. 100 . .	0′50″
0 km. 700 . .	5′40″	6 km.	8′10″	4 km. 100 en	33′10″
5 km. 700 en	50′20″	0 km. 100 . .	50″		
		6 km. 100 en	51′30″		

31 janvier 1900.

Distance. — 15 km. 600.
État de la route. — Mauvaise. Neige.
Température. — Excellente pour la marche. Neige, 3° au-dessus.
Tenue. — De campagne. Anciens, complet. Jeunes; linge, gamelle, fagotin et 6 paquets.
Durée totale. — 2 h. 46′ dont 29′45″ de pause.
Durée effective. — 2 h. 16′15″.
Vitesse moyenne de marche. — 5 km. 730 en 50′; le kilomètre en 8′43″.
État à la rentrée. — Très bon.
Observations générales. — Un peu d'essoufflement, cadence un peu rapide.

1re *Pause.*		2e *Pause.*		3e *Pause.*	
1er km. . . .	9′35″	1er km	8′41″	1er km	8′10″
2e km. . . .	8′ 8″	2e km	9′17″	2e km	9′33″

1re *Pause.*		2e *Pause.*		3e *Pause.*	
3e km. . . .	8′17″	3e km	8′13″	3e km. . . .	9′ 2″
4e km. . . .	8′15″	4e km	8′23″	0 km. 900 . .	7′15″
5e km. . . .	8′ 5″	5e km	8′41″	**3 km. 900 en**	**31′**
6e km. . . .	8′20″	0 km. 700. .	6′10″		
6 km. en	50′40″	5 km. 700 en	49′25″		

6 Février 1900.

Distance. — 16 km. 800.
État de la route. — Bon, assez accidenté.
Température. — Excellente pour la marche, 6° au-dessus.
Tenue. — De campagne. Anciens, complet. Jeunes, complet moins 4 paquets.
Durée totale. — 2 h. 51′.
Durée effective. — 2 h. 31′.
Vitesse moyenne. — 5 km. 560 en 50′, le kilomètre en 9′.
État à la rentrée. — Excellent.
Observations générales. — Pas d'essoufflement, la cadence se ralentit, la longueur du pas augmente, la marche devient souple, élastique.

MARCHES D'ÉPREUVES

25, 26, 27, 28 mars 1901.

1re *Marche.* — 25 mars 1901.

Distance. — 20 kilomètres.
État de la route. — Routes mauvaises, terrain accidenté.
Température. — Froide, vent glacé, neige.
Tenue. — De campagne complète.
Durée totale. — 3 h. 37′.
Durée réelle. — 3 h. 7′.
Vitesse moyenne. — Le kilomètre en 9′ 21″, 5 km. 350 en 50′.
Cadence. — 115 à 118 aux descentes ; 102 à 105 aux montées ; 109 à 110 en plat.
Longueur du pas. — 90 à 95 centimètres petits ; 0 m. 95 à 1 mètre grands.
État à la rentrée. — Satisfaisant.
Observations. — Peu d'essoufflement ; premier kilomètre en 9′ 45″, dernier en 10′ 45″.

2e *Marche.* — 26 mars 1901.

Distance. — 22 kilomètres.
État de la route. — Routes assez bonnes, terrain très accidenté.
Température. — Neige.
Tenue. — De campagne complète.

Durée totale. — 3 h. 48′.

Durée réelle. — 3 h. 18′.

Vitesse moyenne. — Le kilomètre en 9′, 5 km. 555 en 50′.

Cadence. — 115 à 125 aux descentes, 100 à 105 aux montées, 109 à 115 en plat.

Longueur du pas. — Comme à la première marche.

État à la rentrée. — Satisfaisant.

Observations. — Un peu d'essoufflement surtout chez quelques hommes qui, peu exercés à la marche penchée provenant d'autres compagnies, marchent à la cadence de 125 à 130 en raccourcissant le pas et en étendant la jambe. — Premier kilomètre en 9′45″.

3e *Marche.* — 27 mars 1901.

Distance. — 24 kilomètres.

État de la route. — Mauvais, routes boueuses.

Température. — Assez bonne pour la marche ; vent, pluie.

Tenue. — De campagne complète.

Durée totale. — 4 h. 16′.

Durée réelle. — 3 h. 36′.

Vitesse moyenne. — Le kilomètre en 9′; 5 km. 555 en 50′.

Cadence. — Comme à la deuxième marche.

Longueur. — id.

État à la rentrée. — Satisfaisant.

Observations. — Un peu d'essoufflement. Premier kilomètre en 10′, le dernier en 11′ 30″ en raison d'une forte pente de 1400 mètres pour rentrer au fort. Kilomètres pris à la troisième pause : 9′ 45″, 8′ 10″, 8′ 45″, 9′ 10″, 9′ 35″.

Mêmes observations qu'à la deuxième marche.

4e *Marche.* — 28 mars 1901.

Distance. — 26 kilomètres.

État de la route. — Mauvais chemins, empierrés, terrain accidente.

Température. Mauvais temps au début ; neige.

Tenue. — De campagne complète.

Durée totale. — 4 h. 37′.

Durée réelle. — 3 h. 57′.

Vitesse moyenne. — Le kilomètre en 9′ 05″ ; 5 km. 480 en 50′.

Cadence. — Approximativement comme à la deuxième marche.

Longueur. — Approximativement comme à la deuxième marche.

État à la rentrée. — Très bon.

Observations. — Peu d'essoufflement ; premier kilomètre en 9′ 30″, il y avait une descente ; dernier kilomètre en 10′ 45″ il y avait à monter. Kilomètres pris à la troisième pause de marche : 9′ 30″, 9′ 15″ 8′ 45″, 8′ 30″, 9′ 05″.

Deux hommes n'ont fait que les deux premières marches : l'un atteint de bronchite chronique, l'autre atteint d'un goître léger.

Quelques renseignements sur la cadence et la longueur du pas.

Élèves caporaux. — 14 soldats.

SEMAINES	CADENCE	LONGUEUR	ESSOUFLEMENT	OBSERVATIONS
2 au 9 décembre 1900.	115 à 120	90 à 95	normal	Tendance à redresser le corps dans la marche en troupe.
16 au 23 — —	115 à 120	90 à 95	—	
24 au 31 — —	112 115 120	95 à 1m	—	Même observation, les hommes isolés marchent bien les jambes fléchies sans raideur.
16 au 23 Mars 1901.	120 à 125	95 à 98	—	Encore un peu de raideur.
23 au 30 avril 1901.	120 à 125	93 à 96	—	

Pour les autres groupes de la Compagnie.

La cadence au pas accéléré a varié de 108 à 125 avec une longueur de pas de 85 cent. à $1^m,05$.

La cadence au pas de route, de 102 à 128 avec une longueur de pas de 88 cent. à $1^m,05$.

Vitesses dans la course de vélocité. — 11e *expérience :*

Course de vélocité, 5 avril 1882. — Stade de 80 mètres, parcouru à toute vitesse par 16 escouades de militaires entraînés à l'école de Joinville-le-Pont, âgés de vingt-deux à vingt-quatre ans.

Résultats de la course chez les vainqueurs.

Durée du parcours.	Nombre des pas.	Durée du parcours.	Nombre des pas.
9″9	23,5	10″8	24,5
10″	23,5	10″9	26
10″2	24,5	11″	25
10″2	24,5	11″	27
10″3	25	11″	22
10″3	24	11″	25
10″4	24	11″	24,5
10″7	25,5	11″2	24

6 coureurs ont mis 11 secondes pour le parcours mais avec un nombre de pas différent.

NOMBRE des pas.	TAILLE	LONGUEUR de jambe.	POIDS
22	1m,677	0,87	68 kil.
24	1m,67	0,88	65 —
24,5	1m,70	0,83	75 —
25	1m.68	0,88	71 —
25	1m,65	0,82	68 —
27	1m,67	0,88	65 —

3 coureurs ont fait 24 pas, et 4 24,5 pas. Voici leurs mesures.

MÊME NOMBRE de pas.	DURÉE de la course.	TAILLE	LONGUEUR de jambe.	POIDS
24 pas.	10″3	1m.73	0,89	78 kil.
—	10″4	1m,72	0,87	64
—	11″2	1m,67	0,88	65
pour 24,5 pas.	10″2	1m,61	0,81	56
—	10″2	1m,72	0,89	74
—	10″8	1m,66	0,84	62
—	11″	1m,70	0,83	75

Le maximum de vitesse était de 9″,9 correspondant à 23,5 pas; le sujet avait 1m,72, longueur du nombre inférieur 0m,865 poids 70 kilogrammes.

12e *expérience ;* 8 concurrents :

Course de vélocité individuelle parcours 100 mètres.

Durée de parcours, 13″; 13″ 1/2 ; 13″ 3/4 ; 14″ 1/2 ; 14 ; 15 ; 15 ; 16 1/2.

13e *expérience :*

Course de 8 gymnastes courant en ligne. Distance 400 mètres et 3 haies en 1′,38 ; même parcours par le gagnant en 1′,4″.

Courses de fond. — Les courses de fond sont devenues un spectacle ordinaire ; des professionnels consentent à tourner en cercle sur une piste et à gagner ainsi des paris.

Piste circulaire de 270 mètres gazonnée, 50 tours entiers à la même allure sauf le 50e. Départ à 3 h. 54′,30″. Arrivée à 4 h. 53′,35″, longueur des pas 2^{m},5, vitesse 13^{km},5 en 59′,5″.

Il ne faut pas beaucoup tabler sur ces expériences sur piste et en conclure des résultats applicables à la route.

Les exemples précédents extraits des nombreux documents que nous possédons sur ces questions suffisent pour donner idée du parti que l'on peut tirer de l'homme au point de vue de la vitesse.

On cite des coureurs extraordinaires ayant parcouru 40 lieues en 24 heures[1], mais 11 kilomètres à l'heure est une vitesse qui peut dans une course de fond être continuée quelques heures.

Nous ne revenons pas sur ces exploits de surmenage dont nous avons montré les dangers.

Distances franchies dans les sauts. — Les distances franchies dans le saut de pied ferme sont environ 3^{m},50 en longueur et 1^{m}55 en hauteur, avec élan 4 à 5 mètres en longueur et 1^{m},50 en hauteur ; avec une perche le saut peut aller de 6^{m},25 en longueur jusqu'à 3^{m},30 en hauteur. Nous ne donnons pas ici les résultats des records trouvant plus intéressant de nous occuper de la force moyenne et de chercher à l'augmenter par tous les moyens dont nous disposons.

Travail dans les exercices de vitesse. — L'évaluation du travail pourrait se faire dans les exercices de vitesse comme nous l'avons fait pour la marche et la course.

Je lance une pierre avec la main, le travail utile se mesure par la force vive communiquée à la pierre, c'est-à-dire la moitié du produit de sa masse par le carré de sa vitesse. Mais il faut y ajouter le travail dû au déplacement du bras, évalué comme nous l'avons fait pour le déplacement de la jambe dans la course. Les différents segments du bras acquièrent sous l'impulsion musculaire une certaine vitesse angulaire accélérée puis retardée ; il y a travail moteur et travail résistant mesuré par les variations de force vive des différents points du bras. Ce dernier tournant autour de l'épaule, il faudrait pour évaluer son travail trouver expérimentalement son rayon de giration et

1. Voir Karlus, *La Nature*, 31 mai 1884.

son moment d'inertie et tenir compte du travail contre la pesanteur. La chronophotographie nous donnera la valeur maximum de la vitesse comme pour le coup de canne, le coup de poing et le coup d'épée. L'anatomie nous donnera les masses des différents segments du bras et la position de leur centre de gravité, nous aurons tous les éléments du problème.

La masse des bras est au moins 4 fois plus petite que celle de la jambe ; cependant la vitesse communiquée peut être assez

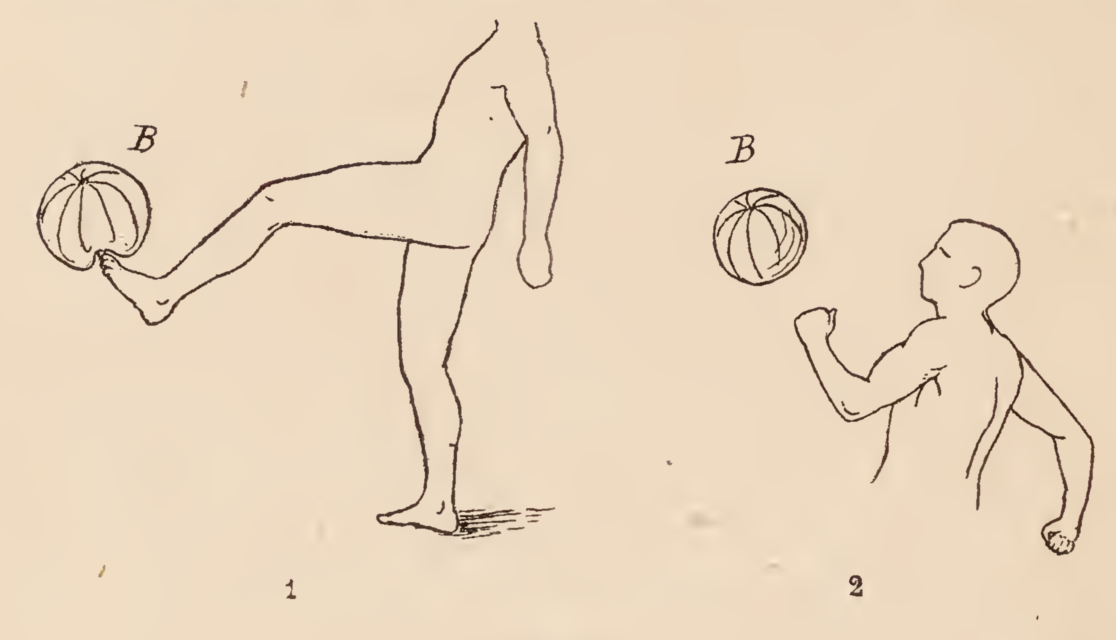


Fig. 557.

1 Déformation du ballon dans l'action du coup de pied ; — 2. Lancer le ballon avec le poing.

grande pour qu'il soit produit un travail très appréciable dans un exercice de vitesse des bras. Néanmoins ce travail sera toujours petit à côté des déplacements de la masse entière du corps, voilà pourquoi s'il était de 24 kilogrammètres dans un pas de course et de 75 kilogrammètres dans un saut, il ne saurait peut-être dépasser ici 30 kilogrammètres, et sera toujours assez pénible pour ne pouvoir être répété plusieurs fois de suite.

Le travail sera d'autant plus grand que la vitesse du bras sera plus grande et surtout que la main à mouvoir s'éloignera le plus de l'articulation. Dans un métronome, une même force motrice produit une vitesse d'autant plus accélérée que la masse est plus rapprochée du centre d'oscillation. C'est pourquoi les animaux coureurs ont leurs membres en forme de cône et toutes leurs masses musculaires disposées vers le centre articulaire. S'il en était autrement il faudrait pour obtenir la

même vitesse dépenser un travail infiniment supérieur, travail qui ne pourrait être obtenu que par des tensions formidables des muscles moteurs et incompatibles avec la solidité des tissus.

La vitesse d'un coup de poing vu la petitesse de la masse du bras est certainement égale à celle d'un coup de pied et cependant on lancera un ballon beaucoup plus loin avec le pied qu'avec le poing (fig. 556).

L'explication en est facile.

La rencontre du pied et du ballon produit un choc et le par-

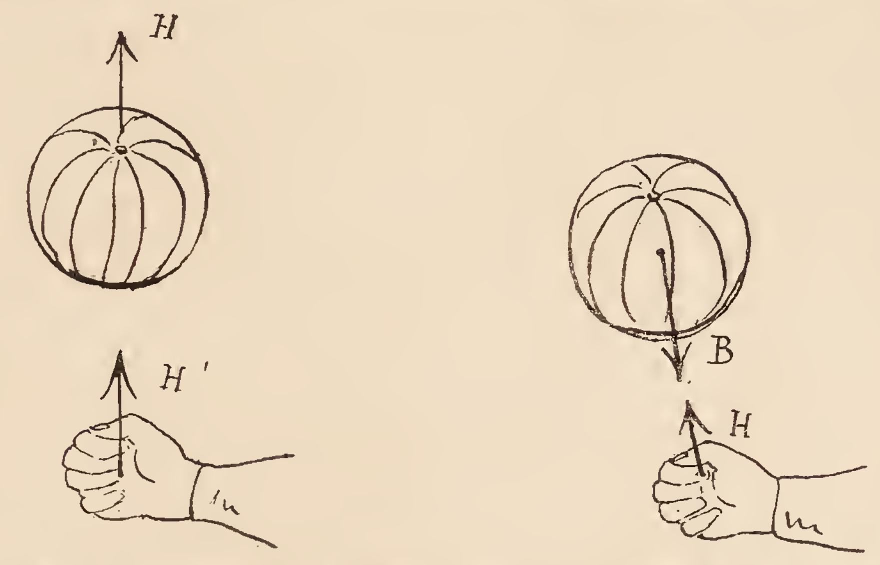


Fig. 558. — Coup de poing ascendant sur un ballon ayant une vitesse de même sens, H et H', et coup de poing ascendant sur un ballon ayant une vitesse descendante B, H.

tage final de la quantité de mouvement se fait entre le ballon et la jambe en raison inverse des masses. Plus exactement au moment du choc du ballon et du pied, il se produit une compression et une déformation du ballon, celui-ci possède la même vitesse que le pied au moment de sa plus grande déformation ; il tend ensuite à s'en séparer en vertu de sa force élastique qui tend à lui faire reprendre la forme sphérique. Il y a donc deux causes s'ajoutant pour lui communiquer de la vitesse : la force vive du pied plus grande que la force vive du poing à vitesse égale vu la masse de la jambe et secondement la déformation plus ou moins grande provenant de la vitesse du ballon au moment du choc. On peut en effet frapper le ballon après son rebondissement sur le sol ou lorsqu'il retombe après l'avoir lancé en l'air. Dans le premier cas le poing et le ballon ont des vitesses de même sens, ces vitesses s'ajoutent (fig. 558) mais la

déformation du ballon est petite; dans le second les vitesses du poing et du ballon sont de sens contraire et la compression au moment du choc est maximum. Cette seconde manière de toucher communique au ballon la plus grande vitesse initiale.

Un coup de raquette du jeu de paume, une volée dans le jeu de balle, un coup de pied dans le jeu de barette sont toujours accompagnés de contractions lointaines destinées à donner une solidité très grande aux points fixes des muscles moteurs des membres, ils sont précédés de sursauts, de temps de course et s'exécutent dans des attitudes de toute espèce ; ces jeux exigent pour cette raison une très grande dépense de travail.

Au contraire des mouvements de bras et de jambes faits mollement sans vitesse, à vide, les anciens exercices de plancher rythmés et fasditieux sont insignifiants au point de vue du travail produit. S'ils ne répondent à aucun but esthétique, il faut mieux les laisser de côté. Le prétexte d'assouplissement est un leurre s'il n'est pas une plaisanterie.

Nous en avons assez dit pour qu'il n'y ait plus de confusion possible entre le travail sous forme de vitesse avec déplacement de la résistance à vaincre et le travail sous forme d'effort statique.

La vitesse c'est de la force vive emmagasinée ; un corps en vitesse peut devenir une source de travail et inversement une force peut devenir une source de vitesse.

Le marteau tombe sur l'enclume et écrase le fer rouge, c'est du travail produit ; un ressort bandé lance une flèche, c'est de la vitesse engendrée.

Travail dans le maniement des outils. — Le travail du marteau est proportionnel au produit de sa masse par le carré de sa vitesse. Aussi son effet utile provient-il du bras qui sait le manier. Il pourrait se mesurer par l'effort nécessaire à enfoncer un clou et par la quantité dont ce clou a pénétré dans la planche, comme pour le battage des pieux. Pour communiquer au marteau toute la vitesse possible, il ne suffit pas de lui faire décrire un long chemin, il faut surtout toujours l'accélérer et ne jamais le retenir, la main doit constamment aller plus vite que lui et exercer ainsi une pression sur le manche dans la direction de son trajet. Ce résultat s'obtient en faisant agir tous les segments du bras, de l'avant-bras, du poignet et des doigts et en

additionnant la vitesse d'extension de chacun des segments mis bout à bout. Le coup de marteau donné avec le bras tout d'une pièce, avec un mouvement venant de l'épaule, est fatigant et ne produit pas d'effet.

La vitesse est le plus grand facteur du travail quand la masse est petite ; un projectile pesant quelques grammes, mais ayant une vitesse de 500 mètres à la seconde, transperce une planche épaisse, ce que ne saurait faire un lourd marteau animé de peu de vitesse.

Le rabot, la varlope sont encore des outils agissant par leur force vive. Ils doivent être massifs pour former volant et régulariser le travail inégal du rabotage. Un copeau de bois dépense un travail mesuré par l'effort nécessaire à pousser le rabot multiplié par la longueur du copeau. Cet effort varie à chaque instant ; un nœud dans le bois et l'outil s'arrêterait si sa masse ne continuait son chemin en vertu de son inertie. Il faut ensuite ramener l'outil à sa position première pour recommencer le travail, c'est là une cause de déperdition existant dans tous les outils à mouvement de va-et-vient. Un habile ouvrier réduit au minimum cette portion inutile du travail en diminuant la vitesse de retour et la pression et le frottement du rabot sur la planche. Dans l'industrie on évite ces mouvements de va-et-vient et l'on y substitue des mouvements circulaires.

La scie et la lime ont encore l'inconvénient des mouvements périodiques. Leur effet utile pourrait se mesurer par le poids de sciure ou de limaille débitée. Le travail se mesure par l'effort nécessaire à pousser l'outil multiplié par le chemin parcouru. L'effort dépend de la pression de la main sur la lime, de la grosseur des dents de la scie, de sa voie, de la quantité de fer que l'on donne au rabot. Il y a avantage à choisir un rythme et un effort convenables pour obtenir le maximum de rendement dans une journée.

Le travail du tour ou du vilbrequin se mesure de même. Pour enfoncer une vis il faut exercer une poussée pour maintenir le tourne-vis au fond de l'encoche et un effort tangentiel pour la faire tourner. Le produit de cet effort par le chemin parcouru dans un tour mesure le travail pour un pas.

Dans un coup d'archet le travail consiste en vibrations communiquées à la corde du violon : il se mesure par l'effort néces-

saire à tirer ou pousser l'archet à chaque instant multiplié par le chemin parcouru. Ici l'effet utile n'est plus le copeau ou l'usure du crin ou de la corde, ce n'est pas non plus la poussière de colophane rejetée, il consiste dans la qualité du son émis et dans son ampleur. L'artiste attaquera la corde à une certaine distance du chevalet et aura deux moyens à sa disposition pour entraîner la corde : la pression de l'archet et la vitesse. Deux écoles opposées se servent de préférence de l'un ou l'autre de ces moyens. Trop de pression écrase la corde et l'empêche de vibrer, trop de vitesse nuit à l'adhérence du crin et de la corde et donne des sons mous et sans mordant. En terme de métier on *grince* ou l'on *savonne*. Il y a un juste milieu à tenir.

Nous avons essayé d'évaluer le travail des outils dans le but d'en obtenir le meilleur rendement. Les résultats de ces expériences ont été assez satisfaisants pour encourager les chercheurs dans cette voie. Il y a un chapitre très important à ajouter à cet ouvrage ; il ne peut prendre place ici et doit faire l'objet de traités spéciaux.

Il y a des cas où le travail relativement faible peut néanmoins produire une fatigue appréciable, et la fatigue se manifeste par le rythme du mouvement exécuté. Un pianiste ne peut exécuter longtemps un trille avec les doigts, bientôt ceux-ci se ralentissent et le nombre de battements par seconde varie ; c'est une manière de constater le degré de fatigue des organes. Plus le nombre de battements est grand, plus le système nerveux et les muscles sont dans de bonnes conditions pour le travail. Ce n'est pas une mesure précise, mais une indication qui a certainement son intérêt. La fatigue se manifeste plutôt dans les muscles maintenus contractés statiquement que dans les muscles moteurs à contraction intermittente.

Totalisateurs de travail. — Pour mesurer le travail dans les actes périodiques simples il faut le totaliser. On se sert pour cela de dispositions variées qui reviennent presque toutes à ajouter bout à bout le chemin parcouru par la résistance à vaincre, ce sont des compteurs de chemin ou des compteurs d'effort. L'ergographe de Mosso est un totalisateur de travail

1. Demeny, *Le Violoniste* (Paris, Maloine).

il inscrit les soulèvements successifs d'un poids au moyen du doigt et le tracé obtenu a besoin d'être interprété ensuite, Il

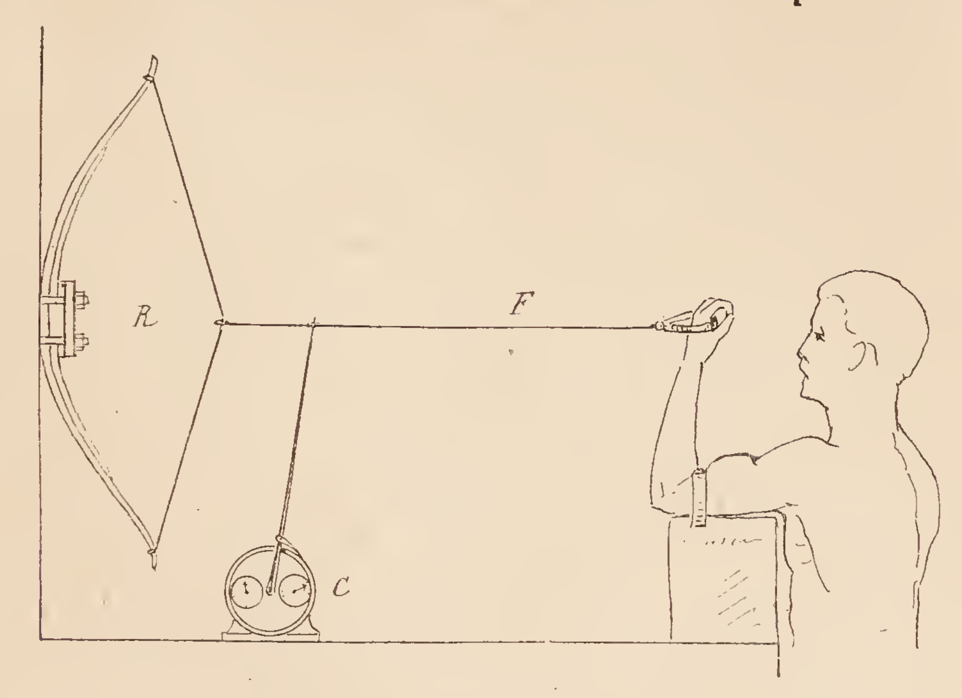


Fig. 559. — Totalisateur et compteur du travail effectué avec le bras. Un ressort R est allongé par l'intermédiaire d'un lien F; — C, compteur du chemin parcouru dans les deux sens.

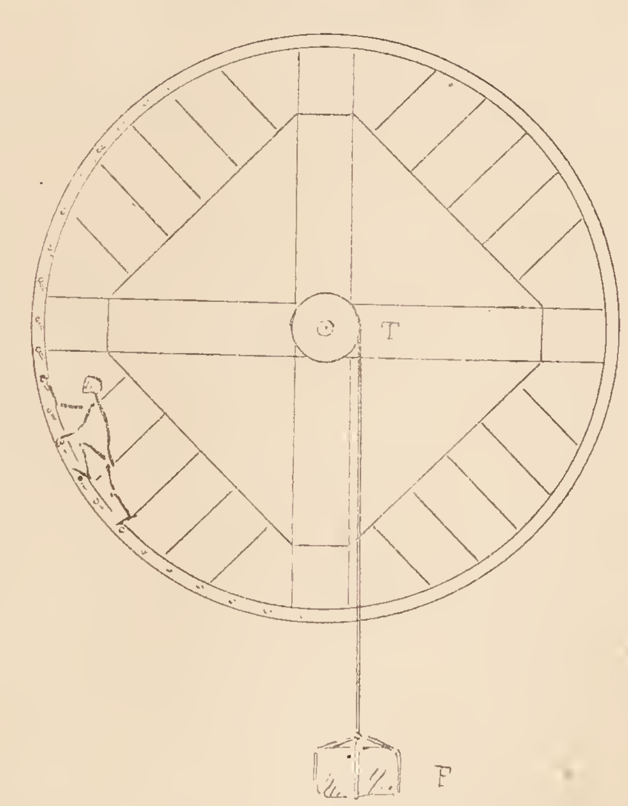


Fig. 560. — Treuil des carriers utilisant le plus économiquement la force musculaire de l'homme en faisant porter le travail sur les muscles des membres inférieurs dans les conditions normales.

serait bien simple d'ajouter à l'axe de la poulie une roue à rochet qui servirait ainsi de compteur pour l'élévation totale du poids après les contractions effectuées (fig. 559). On pourrait

aussi généraliser l'usage de l'ergographe en l'adaptant aux

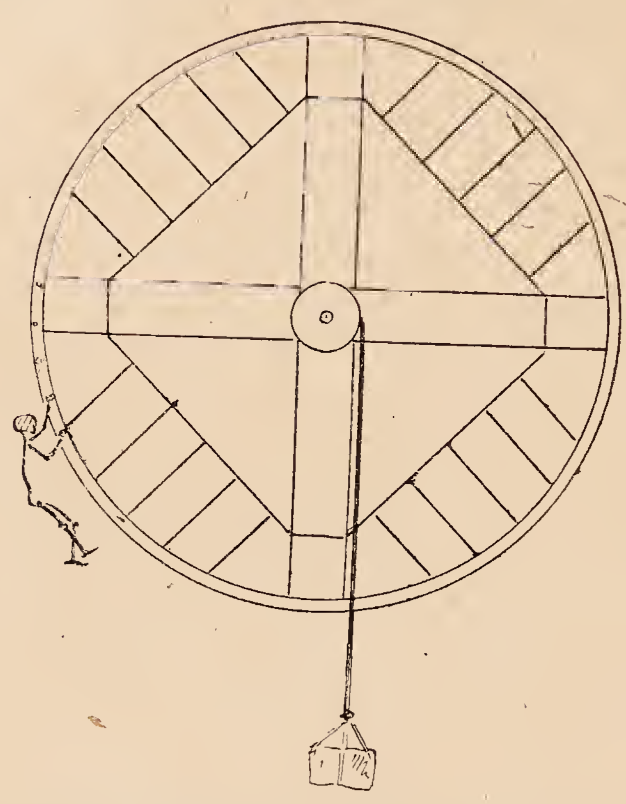


Fig. 561. — Manière défectueuse d'utiliser la force musculaire de l'homme sur un treuil en grimpant à la force des bras.

muscles moteurs des membres et en totalisant le travail dans les deux périodes de flexion et d'extension. Le treuil des carriers

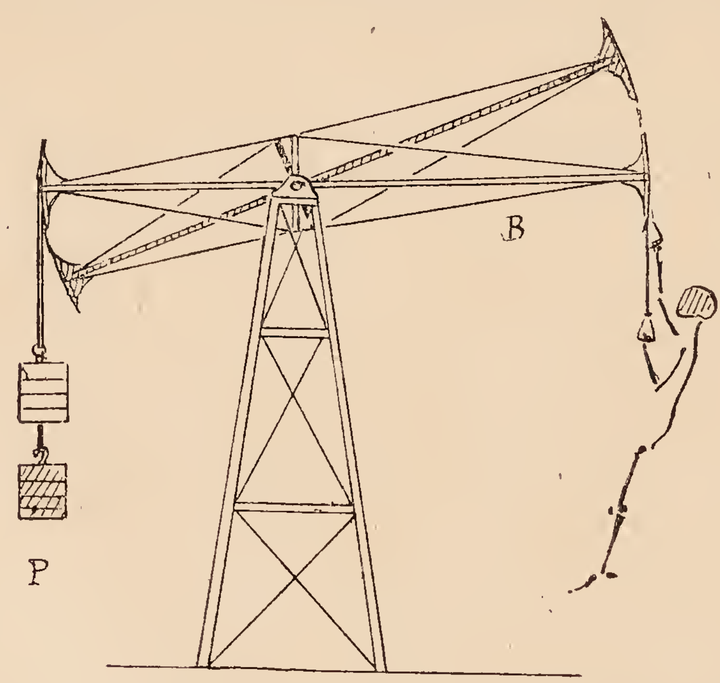


Fig. 562. — Appareil pour totaliser le travail fait avec les bras dans l'élévation verticale du corps.

est un exemple de totalisateur de travail. Au fur et à mesure que l'homme monte sur une cheville, la roue tourne d'une quantité égale à cette montée (fig. 560 et 561).

J'ai construit (fig. 562) un totalisateur de travail analogue pour le travail des bras. Deux balanciers indépendants sont terminés par des poignées auxquelles on se suspend par les mains ; des contrepoids convenables équilibrent presque le poids du corps. Quand tout le poids porte sur une seule main, le système bascule et le poids s'élève, la même chose se passe pour le second balancier ; le mouvement de bascule est enregistré par un compteur ; avec ces instruments il est facile de comparer le travail exécuté avec les bras ou avec les jambes en faisant agir le poids du corps sur les chevilles du treuil des carriers, tantôt par l'intermédiaire des jambes, tantôt par l'intermédiaire des bras. On fera faire à la roue de nombreux tours dans le premier cas ; avec les bras on aura peine à la faire avancer de 10 échelons. Tous les appareils à contrepoids et à ressorts peuvent être transformés en totalisateurs de travail, il n'y a pas grand'chose à faire pour cela.

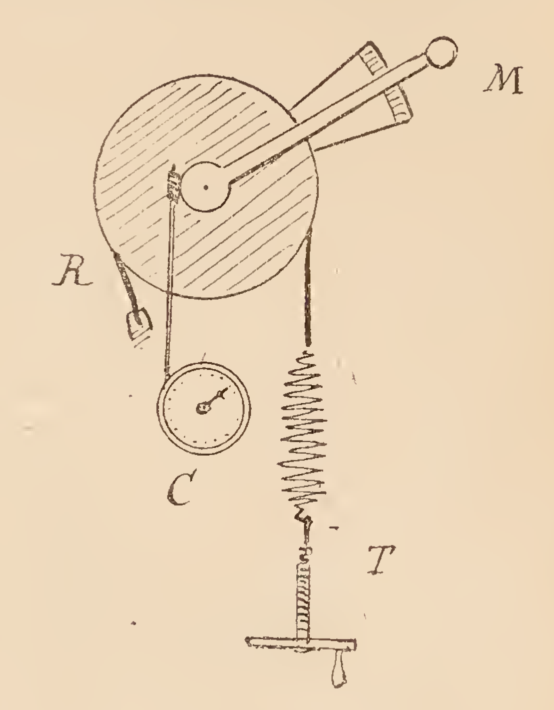


Fig. 563. — Manivelle dynamométrique donnant l'indication de la force motrice nécessaire à vaincre le frottement sous la tension du ressort TR agissant sur un tambour. Un compteur C donne la mesure du chemin parcouru par la manivelle ce qui permet d'évaluer le travail produit.

Les freins sont aussi des totalisateurs de travail. Un disque de bois serré par une corde ou un ruban métallique peut donner par les tours de manivelle qu'on lui fait faire et l'inscription de l'effort sur cette manivelle la valeur du travail effectué au bout d'un temps donné (fig. 563).

L'inscription de l'effort dans la traction d'une voiture sur un papier qui avance en fonction du chemin parcouru donne le travail par la valeur de l'aire comprise entre la courbe et l'axe des abscisses (fig. 553).

Il suffit de découper et de peser ces surfaces pour les mesurer comparativement.

Rythme optimum et rythme régulier dans la dépense de tra-

VAIL. — Tout ce qui précède est de nature à nous bien convaincre de la nécessité et de l'importance du rythme pour obtenir un régime régulier de travail, nous l'avons recherché pour les allures marchées et courues, nous l'avons montré à propos de la fatigue et des expériences faites à l'ergographe ; il

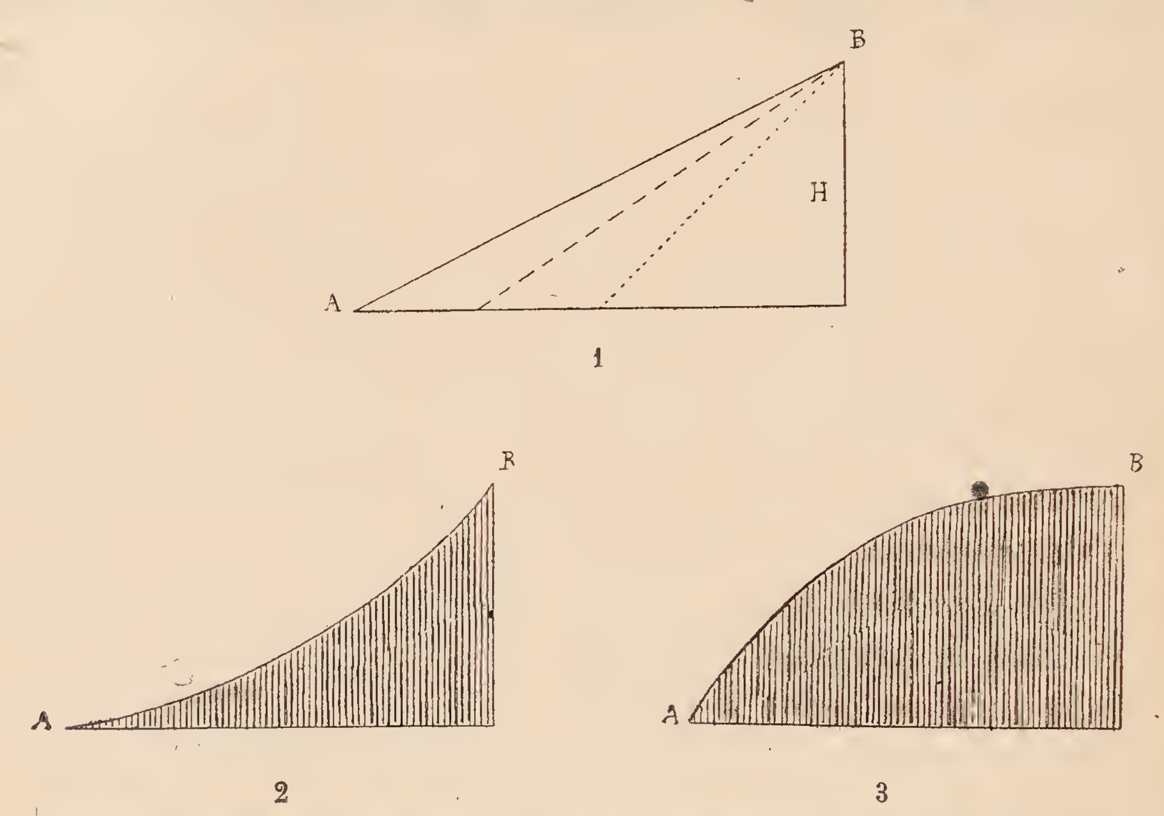


Fig. 564. — Manières différentes d'accomplir un même travail comme monter à une hauteur H par le chemin AB.

1, d'une façon uniforme ; — 2, avec un effort croissant ; — 3, avec un effort considérable au début et décroissant ensuite.

faut le déterminer dans chaque cas au moyen des totalisateurs de travail.

C'est là où l'homme diffère essentiellement des machines, parce qu'il possède un élément fondamental et individuel, la faculté de produire du travail physiologique et de réparer la dépense au fur et à mesure de la production.

Différentes manières d'accomplir une certaine quantité de travail. — Ainsi on peut accomplir un travail donné, par exemple élever un poids à une hauteur H par un effort continu ininterrompu, en montant le long d'un plan incliné sous un angle favorable, ou en s'y rendant par une courbe où l'effort varie, où il décroît vers la fin (fig. 564, 1 et 3) ou au contraire s'accroît sans cesse (fig. 564).

Dans la plupart des cas l'effort continu est impossible, le

travail est alors exécuté en plusieurs reprises, il sera ainsi plus avantageux de monter en deux fois en mettant entre les deux ascensions une période de repos (fig. 565) ; l'inclinaison des chemins pourrait être plus grande, l'effet utile persisterait.

On peut diviser encore le travail en petites fractions et s'élever

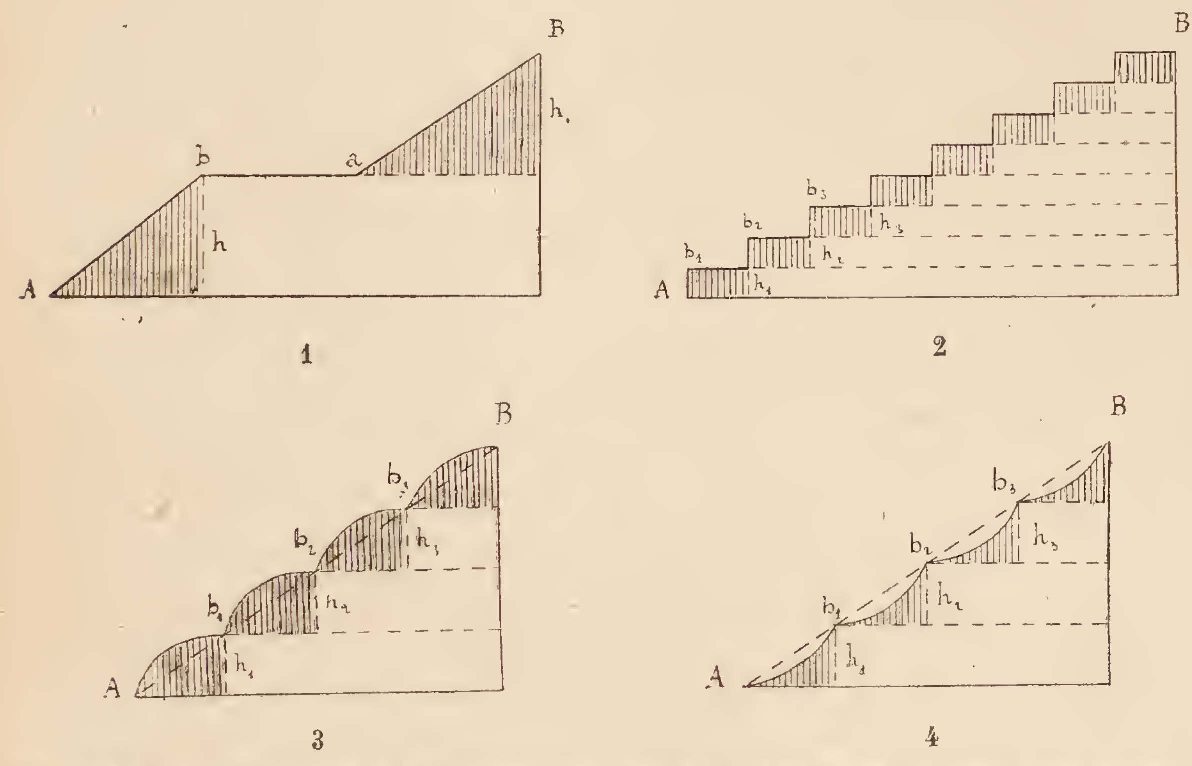


Fig. 565. — Manière d'effectuer un même travail en faisant des reprises espacées par des repos.

1, deux reprises de travail séparées par une période de repos ; — 2, plusieurs reprises de petits travaux h_1, h_2, h_3 séparées par de petits repos b_1, b_2, b_3 ; — 3, suite de travaux à efforts décroissants ; — 4, suite de travaux à efforts croissants.

par degrés comme dans l'escalier (fig. 565,2), c'est-à-dire exécuter des fractions du travail suivies de petits repos ; cette succession des reprises constitue le rythme.

Enfin on peut opérer le travail par fractions et exécuter chaque fraction suivant une loi de croissance ou de décroissance d'effort (fig. 565, 3 et 4), le travail total restant le même, la facilité avec laquelle on l'aura exécuté donnera un rendement meilleur en effet utile, car on se trouvera après le travail dans un état de fatigue plus ou moins considérable.

Ces considérations générales sur le rythme et l'effort sont applicables à tout travail ; il existe une manière optimum de procéder dans chaque cas particulier. Nous en avons vu la réalisation à propos de l'économie dans la marche et dans l'avantage qu'il y a à mélanger les courses, les marches et le repos, c'est-à-

dire à progresser non pas uniformément mais avec différentes vitesses. Les figures ci-contre peuvent représenter la loi de variation du travail en fonction du temps et non seulement des hauteurs d'élévation et les lignes de niveau pour y parvenir.

Le régime de travail compatible avec la réparation intégrale des fonctions est comparable au maintien du niveau dans un réservoir A qui reçoit du liquide par un robinet R et en perd par un autre robinet R'.

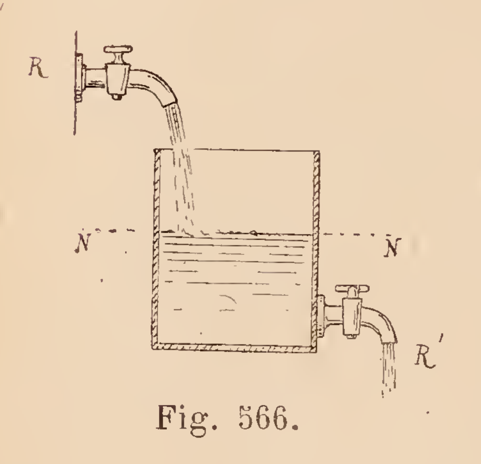


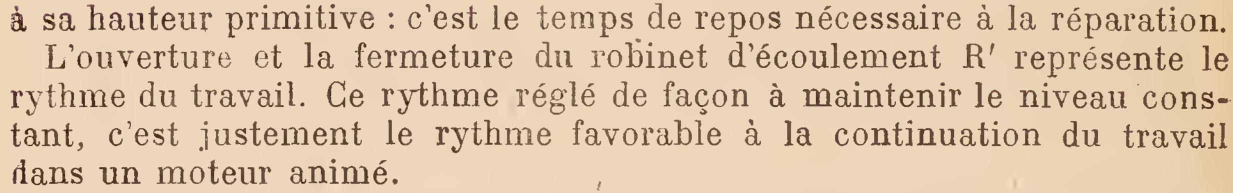
Fig. 566.

Si R' débite autant que R, le niveau reste constant, c'est la réparation toujours égale à la dépense.

Si R' débite plus que R, le niveau NN' baisse, c'est la dépense plus grande que la réparation.

Pour ramener le niveau normal, il faut fermer R' un certain temps, arrêter la dépense pendant que la réparation continue de se faire.

Après chaque excès de débit de R', il faut un certain temps pour que le niveau remonte à sa hauteur primitive : c'est le temps de repos nécessaire à la réparation.



L'ouverture et la fermeture du robinet d'écoulement R' représente le rythme du travail. Ce rythme réglé de façon à maintenir le niveau constant, c'est justement le rythme favorable à la continuation du travail dans un moteur animé.

L'expérience seule en permettra la détermination dans chaque cas particulier.

CONCLUSION

Toutes les méthodes d'éducation physique doivent non seulement tendre à améliorer la race, mais aussi à apprendre à chacun dans son métier le moyen d'obtenir le meilleur résultat utile avec le minimum de dépense et de fatigue.

Il y a des procédés d'élevage ou d'amélioration de l'individu, ce sont les choses les plus pressantes à connaître. Il y a aussi des procédés de dressage dans chaque genre d'activité. Tous les métiers ont leurs règles d'apprentissage. Il y aurait intérêt à les uniformiser, à en faire le rapprochement méthodique ; ils s'éclaireraient les uns les autres. Les spécialités ont des lois communes, ce qui les divise ce sont les préjugés qui y règnent et les subtilités dans lesquelles elles se confinent.

Nous avons montré en particulier l'utilité que l'art de la guerre pourrait retirer pour le haut commandement d'une connaissance plus approfondie de l'être humain en temps que producteur d'énergie et des limites que l'on peut assigner à son activité au lieu de compter uniquement sur l'influence morale du chef et sur l'énergie de chaque unité.

Le soldat est soumis aux lois de la fatigue et de la réparation, il obéit aux lois d'économie et aux influences du milieu. Le bataillon et le corps d'armée ont aussi leurs lois, mais ils diffèrent de l'individu sous le rapport de la locomotion comme des exigences morales.

L'expérience permet de prévoir des résultats qu'il serait puéril d'attribuer au hasard et la science peut, à coup sûr, fixer les limites des efforts que l'on doit raisonnablement demander à l'homme sans le détruire ; on peut ainsi obtenir de ce dernier

une série d'efforts et de travaux compatibles avec la réparation de ses forces, le résultat final sera plus important et plus sûr que ce qu'on peut attendre d'un effort excessif, d'un emballement désespéré.

Ces connaissances porteront surtout leur fruit dans l'amélioration du sort des travailleurs. La guerre demande un résultat immédiat, souvent acquis au prix des plus grands sacrifices, celui qui a donné dans une action étant exposé à disparaître.

Le travail industriel équitablement établi doit être envisagé autrement dans un état social où l'esclavage a disparu, le travailleur crée des éléments nécessaires à la collectivité et au bonheur général, il a droit à sa part de loisirs et de santé ; en aucun cas son travail ne devrait être pour lui une cause de déchéance physique, tandis qu'elle est tout bénéfice pour le consommateur.

Ainsi l'exploitation immorale du travailleur pourrait être combattue ou atténuée par une entente réciproque basée sur la meilleure intelligence des rapports entre le capitaliste qui donne les moyens d'exécuter et le travailleur qui représente également un capital d'énergie.

L'idéal serait d'augmenter ces deux sources de la richesse au lieu de grossir l'une en tarissant l'autre. Toutes les réformes sociales doivent tenir compte de ces vérités et être dirigées dans ce sens. La science économique trouvera alors dans la physiologie appliquée des notions vraies dont elle devra s'inspirer et ne jamais s'écarter pour déterminer équitablement le salaire du travailleur et comparer les divers modes de travail au point de vue de la fatigue et de la dépense qu'ils nécessitent.

Un jour viendra où ces études encore purement spéculatives prendront un développement important dont on ne peut encore prévoir la portée pratique.

Nous souhaitons que cette évolution se fasse au plus tôt et nous serons heureux si nous contribuons dans une modeste mesure à ce résultat[1].

1. Depuis la publication de cet ouvrage il a été créé à l'Institut de Sociologie fondé par M. Solvay, à Bruxelles, un centre d'observations et d'études de ce genre.

NOTE I

SUR L'ANALYSE DU COUP D'ÉPÉE

Dans des recherches faites sur un autre sujet, nous avons eu pour trajet de la pointe du fleuret une distance de 0 m, 87 en $\frac{36}{45}$ de seconde la trajectoire était sinueuse; le mouvement de la pointe est engen-

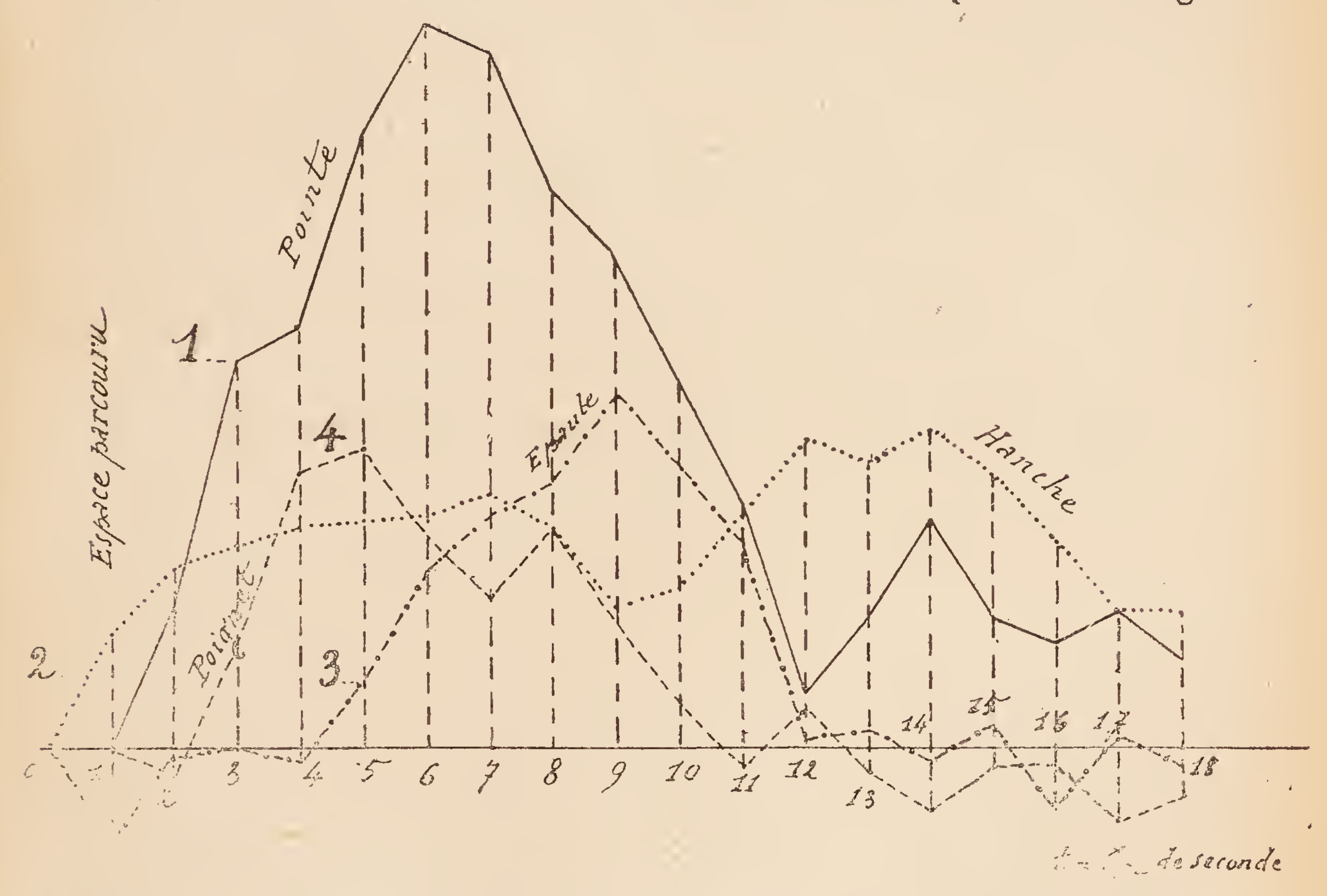


Fig. 567. — Courbes de la vitesse de la pointe, du poignet, de l'épaule et de la hanche. Synchronisme des mouvements de la hanche, de l'épaule, du poignet et de la pointe de l'épée dans un coup droit exécuté brusquement.

dré par la composition de plusieurs mouvements de la jambe, du tronc, du bras et de la main.

Le mouvement de la jambe d'arrière (rotation autour de la cheville et extension du membre inférieur) dure $\frac{28}{45}$.

Le tronc a un mouvement en arrière pendant $\frac{12}{45}$ de seconde, au-

quel succède un mouvement en avant pendant les $\frac{24}{45}$ restant. Le bras a un mouvement angulaire combiné avec l'allongement, la rotation se fait entre le $\frac{3}{45}$ au $\frac{32}{45}$ à partir du début; l'extension commence au $\frac{8^e}{45}$ pour se terminer au $\frac{24^e}{45}$. La main s'abaisse jusqu'au $\frac{16^e}{45}$ et s'élève du $\frac{22^e}{45}$ au $\frac{36^e}{45}$.

Le coup précédent était un coup progressif; comparé au coup brusque exécuté par le même sujet, il nous a donné pour chacun la même durée du coup droit $\frac{36}{45}$ de seconde, même espace 85 centimètres avec des sinuosités plus accentuées de la pointe. La jambe se tend plus tôt dans le coup brusque, la tension se produit quand la rotation n'est pas encore accomplie, ce qui a pour effet d'élever la trajectoire de la hanche. Le bras commence son extension plus tôt, l'action de la main est plus accentuée. La vitesse de la pointe est plus grande au début mais décroît très vite et l'on perd à la fin du coup le bénéfice du début.

Il y a donc surcroît de dépense sans que le résultat obtenu soit supérieur. Le coup brusque ne serait avantageux qu'à petite distance qui ne dépasserait pas $0^m,80$.

Les chiffres ont été obtenus au moyen de l'analyse chronophotographique.

NOTE II

CLASSIFICATION PHYSIOLOGIQUE DES EXERCICES

Cette classification doit être basée sur les qualités constituant la valeur physique de l'individu, c'est-à-dire :

I. — *Santé : force musculaire ; endurance* ou résistance à la fatigue.

II. — *Taille, volume* et *proportions* du corps.

III. — *Adresse, souplesse*, habileté à *manier son corps* et *habileté manuelle.*

IV. — *Caractère* ferme; *volonté* énergique; *courage; initiative; valeur morale.*

Ces qualités se reconnaissent aisément et peuvent exister à divers degrés chez le même sujet.

Des mesures peuvent même établir une sorte de critérium de la valeur physique individuelle. Elles doivent pour cela être assez complètes pour donner une idée suffisante de sa *forme* ou *structure*, de sa *puissance énergétique* et de son *rendement en travail.* Nous les divisons en trois séries :

1. Les mesures *somatiques* au repos;
2. Les mensurations et documents *physiologiques*;
3. Les épreuves *pratiques*.

Ces mensurations constituent l'étude *somatique, physiologique* et *mécanique* d'un sujet.

C'est en un mot sa *fiche* individuelle qui permettra de le comparer à lui-même au bout d'un certain temps d'entraînement et pendant sa phase d'évolution.

Cette fiche pourra servir aussi à le comparer à d'autres et à déterminer ainsi daus une race un type normal moyen dont tous peuvent se rapprocher.

I. — Valeur somatique ou structure

Taille. — Poids. — Volume. — Rapports du poids à la taille et du poids au volume ou densité.

Hauteurs de la 7e *cervicale, de l'épine iliaque,* du *grand trochanter* du fémur, du *genou,* de la *cheville du pied* au-dessus du sol.

Longueur totale du membre inférieur et longueur des segments : *cuisse, jambe, pied.*

Longueur du membre supérieur de l'épaule à l'extrémité du doigt médius et longueur des segments : *bras, avant-bras, main.*

Périmètres de la cuisse et du mollet, du bras et de l'avant-bras.

Envergure ou rapport $\frac{\text{taille}}{\text{envergure}}$.

Mesures du tronc :

Hauteur de la colonne vertébrale; flèches de la courbure *cervicale et lombaire.*

Longueur du *sternum.*

Périmètre du *cou* et de l'*abdomen.*

Diamètres du thorax. — Antéro-postérieur (inspiration et expiration), transverse (inspiration et expiration).

Circonférences du thorax (inspiration et expiration).

II. — Valeur physiologique

Capacité respiratoire.

Nombre de mouvements *respiratoires* à l'heure au repos.

Amplitude de ces mouvements mesurée suivant la circonférence et suivant les diamètres.

Nombre de pulsations du cœur au repos et après une course.

Tension artérielle.

Tonicité musculaire, *secousse* musculaire.

Temps de *réaction* (réflexe rotulien, etc.).

Amplitude des mouvements articulaires, bras, cuisse, colonne vertébrale.

Nous avons construit pour toutes ces mesures des instruments spéciaux.

FORCE STATIQUE ET TRAVAIL

Membre supérieur :

Pression de la main droite au dynamomètre évaluée en kilogrammes et en durée, *id* de la main gauche.

Développer un haltère de la main droite et de la main gauche. — (Nombre de fois et nombre de kilogrammes soulevés.)

Développer une barre à sphères des deux mains.

Essai du sujet à la *manivelle dynamométrique.* — (Nombre de kilogrammètres effectués dans un temps donné.)

Lancer du *boulet* et du *disque,* distance franchie.

Précision du lancer. Nombre de touches d'un but déterminé en lançant du bras droit et du bras gauche.

Vitesse du coup de poing (droit et gauche).

Membre inférieur:

Force d'extension des jambes au dynamomètre.

Pression en kilogrammes et durée de la pression pour la jambe droite, la jambe gauche et les deux au moyen d'une extension du tronc (force des reins).

Lancement du ballon à une distance maximum et *précision* du lancer dans un but donné (jambe droite et jambe gauche).

III. — Valeur mécanique dans les exercices d'application

Marche. — Distance parcourue, durée, vitesse de progression, nombre des pas, longueur du pas.

Course. — Course de *vélocité* de 100 mètres. Durée, nombre des pas, temps nécessaire au rétablissement des fonctions circulatoire et respiratoire.

Course de 1500 mètres et course de fond de 15 kilomètres (mêmes observations).

Sauts. — De *pied ferme* en hauteur, longueur, hauteur et longueur.

Sauts avec *élan, id* , sauts à la perche.

Nombre de sauts successifs et durée de ces sauts.

Sauts avec *appui des mains* sur la poutre, au cheval et à la barre de suspension. — Observations sur la chute des sauts, leur stabilité et leur amortissement.

Natation. — Course de 100 *mètres*, mode de natation et durée.

Course *de fond*, distance et durée.

Plongée et sauvetages.

Grimper et rétablissement. — *Hauteur* du grimper à la corde avec les mains et les pieds et avec les mains seulement, *temps* employé. Nombre de rétablissements successifs sur une barre, sur la poutre et sur la planche.

Mouvements d'*élan et de souplesse*

Chute en profondeur, chutes après balancements aux barres fixes et aux barres parallèles. Voltige.

Adresse au tir. — Nombre de balles et de points obtenus.

Appréciation sur l'adresse générale et sur les assauts de boxe, de canne, de lutte, sur la gymnastique, aux agrès et les jeux.

Après avoir dressé ce tableau de contrôle qui fixe l'état de l'individu au point de vue de sa *structure*, de son *fonctionnement* et de son *rendement en travail*, nous devons nous efforcer de grouper les exercices qui nous permettent d'obtenir le plus *nettement* et le *plus directement* possible les qualités physiques définies plus haut.

L'observation nous montre que les qualités fonctionnelles — ou mieux cette *plus-value* fonctionnelle — correspondent au perfectionnement d'appareils organiques différents dont l'éducation doit être faite avec la plus grande attention et dont le système musculaire ne forme qu'une minime partie.

Nous sommes arrivés ainsi à diviser une éducation physique *complète* en deux parties :

A. — La *gymnastique éducative* composée de soins hygiéniques et d'exercices propres : 1° à assurer le *développement* le plus parfait de l'individu; 2° à établir chez lui l'*équilibre* fonctionnel qui augmente son énergie; 3° à *éduquer ses mouvements* en lui apprenant à en être maître, l'énergie acquise étant toujours dépensée avec adresse et souplesse en vue de toutes les applications utiles dans la vie.

La *gymnastique éducative* comprend ainsi les moyens nécessaires pour *préparer* à l'application pratique, but final de l'éducation physique.

B. — La *gymnastique d'application* qui, l'énergie une fois acquise, se propose l'*utilisation économique* de la force musculaire, c'est-à-dire le rendement maximum de la machine humaine dans toutes les applications : *locomotion*, *défense*, *sauvetage*, *professions manuelles*, etc.

A ces deux parties de l'éducation complète correspondent des exercices différents qui développent particulièrement chacune des qualités physiques définies plus haut; ce sont, classés suivant leur effet prépondérant les genres de mouvement indiqués dans le tableau suivant :

A. — Gymnastique éducative

(préparant aux applications) et devant donner les qualités physiques par des exercices appropriés.

QUALITÉS PHYSIQUES	EXERCICES APPROPRIÉS
1. — *Santé et endurance.* — Développement de l'énergie par le bon fonctionnement des organes essentiels à la nutrition. ——— S'adressent aux organes chargés de l'assimilation et de la dessassimilation. Maximum de nutrition avec le minimum d'intoxication.	*a.* Travail réparti sur tout l'organisme, activité se communiquant à tous les organes, somme de travail ne dépassant pas la fatigue, accoutumance à une dépense de plus en plus grande. *b.* Entraînement progressif, proportion judicieuse entre les périodes de travail et les périodes de repos. *c. Exercices respiratoires.* *d.* Bains et soins de la peau. *e.* Jeux et exercices en plein air.
2. *Développement du corps et force musculaire* (surtout des parties faibles), rectification du squelette, recherche de la forme et des proportions du corps qui constituent la beauté. ———	*a.* Irrigation et nutrition des masses musculaires par des contractions lentes et complètes. *b* Mouvements étendus dans les deux sens (flexion et extension) avec toute l'amplitude possible et pour vaincre une résistance qui provoque une tension continue sensiblement

S'adressent aux os, aux articulations, aux muscles et annexes.	constante du muscle, ceci pendant *toute* sa contraction concentrique et excentrique. *c.* Contractions *statiques* et *concentriques* localisées aux parties faibles (dos et abdomen). *d.* Mouvements spéciaux pour *redresser le rachis*, *fixer l'épaule*, *amplifier le thorax* et fortifier les *parois abdominales*.
3. *Education des mouvements* en vue d'acquérir la *souplesse* l'*adresse* corporelle et manuelle. ——— S'adresse aux centres nerveux de coordination et d'association, met en jeu l'excitation volontaire et l'inhibition; perfectionne les sens et les centres de perception.	Exercices d'équilibre exécutés avec souplesse. Exercices rythmés. Mouvements continus. Mouvements progressivement plus difficiles et plus compliqués exécutés économiquement. Mouvements dissymétriques. Mouvements vifs. Detente, lancer dans un but. Exercices d'élan (courses et sauts, danses). Exercices de chûte en prolongeant celle-ci sans brusquerie. Exercices d'équilibre à une certaine hauteur pour vaincre le vertige. Leçons de boxe, de canne, d'escrime.
4. Développement des qualités viriles : caractère, volonté personnalité. ——— S'adresse aux centres nerveux de la volition.	Exercices demandant du courage de la volonté et de l'initiative. Jeux en commun. Direction des jeux. Plaisir et émulation. Endurance à la douleur.

B. — Gymnastique d'application

But de l'éducation physique.

Qualités physiques.	*Exercices correspondants.*
Coordination de nos mouvements et association des contractions musculaires en vue de la meilleure utilisation de notre énergie *dans chaque cas particulier*. Habitudes écono-	Locomotion de vitesse et de fond. Marche, course, sauts d'obstacles, vélocipède, équitation et machines diverses. Canotage. Natation. Grimper. Sauvetages.

miques créant des formes de mouvement pour chaque travail. Manières économiques de travailler. Rythmes avantageux Recul de la fatigue par l'entraînement.	Port et transport des fardeaux. Lancer dans un but. Tir à la cible. Assauts de boxe, canne, etc. Métiers manuels indispensables, travail du bois, cordes, fer.

Cette classification basée sur les faits naturels dans leur ordre logique et dans leurs rapports avec le but de l'éducation permet d'embrasser d'un seul coup d'œil ce que nous entendons par l'éducation complète; chaque partie de ce tableau constitue une suite susceptible de développements.

L'importance relative que l'on doit donner à certains genres d'exercices est à déterminer dans chaque cas particulier. Cette adaptation doit être faite d'après l'état des sujets auxquels on s'adresse. En principe il faut essayer de donner à chacun les qualités physiques qui lui manquent et entretenir celles qui existent déjà sans les développer outre mesure.

Nous avons ainsi la clef de contrôle d'une méthode en la comparant à cette synthèse, en nous demandant si elle répond au but bien défini précédemment et si elle en réalise les différentes parties par des moyens appropriés au but et aux sujets à modifier.

PRINCIPES D'ÉDUCATION PHYSIQUE BASÉS SUR LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

1. Donner aux mouvements, dès le début, une forme naturelle et une direction utile.

2. Ne jamais séparer les moyens servant à développer les muscles de la meilleure utilisation de leur travail.

3. Eviter l'effort statique et le remplacer par du mouvement et du travail.

4. Exécuter le mouvement complet, chaque faisceau musculaire étant allongé et raccourci avec toute l'amplitude qu'il peut réaliser. Mettre en jeu tous les faisceaux autour d'une articulation en faisant décrire aux extrémités des membres des trajectoires curvilignes planes ou gauches, ouvertes ou fermées, symétriques et dirsymétriques dans tous les plans et dans toutes les directions.

5. Cultiver simultanément la force et la souplesse en obtenant dans l'exécution de tout mouvement l'indépendance des contractions musculaires et en évitant la participation des muscles inutiles à ce mouvement.

6. Éviter dans tout travail l'action isolée et séparée d'une partie du

corps sans qu'il y ait participation harmonieuse du corps entier à cette action localisée. Rechercher surtout les exercices synthétiques où toutes les parties du corps concourent à un effet résultant bien net.

7. Associer toujours la *beauté* à l'*utilité* du mouvement.

8. Pousser très loin et développer le sens de l'équilibre et de l'orientation dans l'espace ; acquérir ainsi la maîtrise complète de son corps. Rechercher toujours le rythme du travail le plus économique, ce qui permet d'aborder avec ces qualités, les exercices les plus compliqués et les plus difficiles en associant toujours la force et la souplesse, la grâce et la beauté dans tout mouvement.

NOTE III

SUR LA COURBURE LOMBAIRE DANS LES DIFFÉRENTES ATTITUDES ET SUR LE MÉCANISME RESPIRATOIRE CORRESPONDANT

La photographie employée comme procédé de mensuration présente des imperfections surtout quand il s'agit de mensurer la colonne vértébrale.

Elle donne tout au plus une silhouette, un profil avec les erreurs dues à la perspective suivant le point de vue auquel on se place.

L'axe vertébral situé dans le sillon profond creusé dans le massif des muscles dorsaux lombaires présente des courbures qui échappent à ce mode d'exploration commode mais inexact.

Nous avons vu (*Bases scientifiques de l'éducation physique*) le mode d'opération convenable en pareil cas. C'est au moyen des *conformateurs* et du *Rachigraphe* que nous obtenons directement la forme du rachis; cette forme diffère totalement de la perspective du profil photographique.

Nous avons appliqué ce procédé exact pour obtenir la section verticale et antéro-postérieure du tronc dans différentes attitudes.

Dans la station droite par exemple, les éducateurs cherchent à éviter les attitudes défectueuses en la rendant corrective, c'est-à-dire en faisant un effort actif d'extension en tenant la tête droite et en réduisant les flèches des courbures cervicale et lombaire, les épaules effacées, le thorax bombé et le ventre rentré.

Cette attitude gymnastique est bonne lorsqu'on ne cherche pas à l'exagérer; mais il y a tendance à bomber la poitrine avec exagération et à donner ainsi à un sujet l'apparence d'un thorax très développé. Ce perfectionnement apparent est tout à fait illusoire.

Nous avons pris sur une même plaque photographique et sur fond noir deux images d'un même sujet dans une station droite normale et dans une de ces positions exagérées où il cherche à faire ressortir la poitrine au maximum.

Les figures obtenues donnent immédiatement les profils superposés des deux attitudes, et permettent de voir immédiatement les parties qui se sont déplacées et leurs positions relatives.

On constate sans difficulté que le thorax se bombe non pas par augmentation considérable de son diamètre antéro-postérieur mais par un *mouvement de totalité du tronc* auquel participe la colonne vertébrale et le bassin (fig. 568).

La région lombaire surtout est intéressée dans ce mouvement. Le ventre se creuse et les viscères abdominaux sont refoulés en haut contre le diaphragme et dans la cavilé thoracique.

Nous avons placé des baguettes blanches pour indiquer l'orientation des diverses parties du tronc : bassin, sternum, régions lombaire et dorsale et jambes.

En photographiant le sujet portant ces index, nous avons pu nous

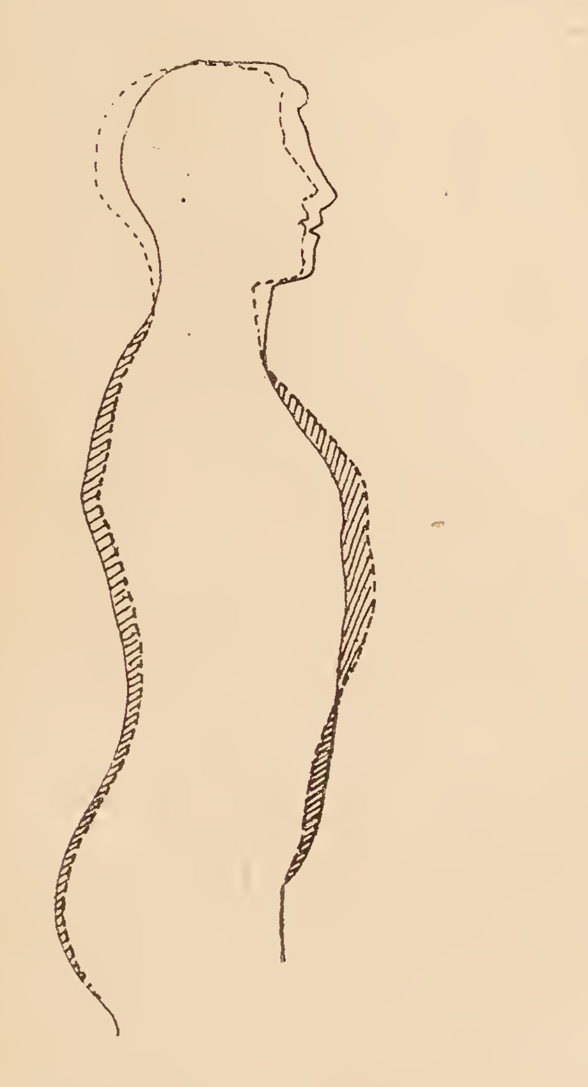


Fig. 568. — Photographies superposées du profil d'un sujet dans une station droite normale et dans une station avec la poitrine exagérément bombée.

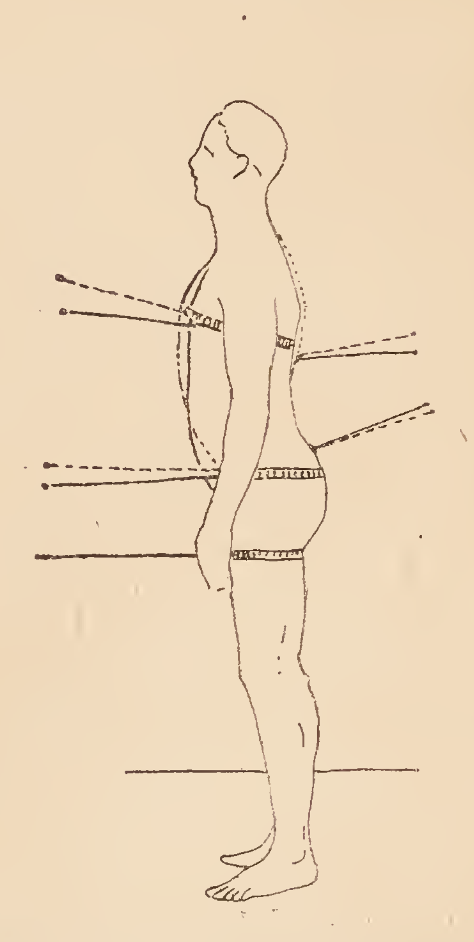


Fig. 569. — Sujet photographié avec des index placés normalement à certains points de la surface de son corps pour amplifier les déplacements de ces parties en passant de l'attitude droite à l'attitude droite exagérément tendue.

rendre exactement compte du mouvement relatif de ces diverses parties et nous avons constaté que pour passer de la position normale à cette position exagérée (fig. 569) :

1° Le bassin s'incline en arrière ; 2° la courbure lombaire augmente pendant que le sternum est porté en avant par un mouvement général du rachis.

En prenant au moyen des *conformateurs verticaux* la coupe antéro-

postérieure du tronc, en comparant cette coupe au profil photographique, nous avons vérifié combien cette section diffère du profil obtenu par la photographie, elle présente une surface beaucoup moindre : cela se comprend puisque l'on fait abstraction de tous les reliefs musculaires qui masquent l'ossature. De plus cette coupe montre que dans la position exagérément bombée de la poitrine, le thorax ne s'amplifie point comme on pourrait le supposer et que l'augmentation de son diamètre antéro-postérieur est très minime.



Fig. 570. — Formes de la courbure lombaire prises au conformateur.

1, Dans la station droite rectifiée. — 2, Dans la fente en arrière. — 3, Dans l'extension dorsale jambes étendues. — 4, Dans la grande extension dorsale, les mains à l'espalier, on peut constater que c'est dans la fente en arrière exécutée, le corps restant dans le prolongement de la jambe en avant, la jambe d'arrière fléchie, que la rectification de la région lombaire est la plus grande.

En réalité, si la paroi sternale est projetée en avant, la colonne vertébrale suit le mouvement, le dos se creuse, la région lombaire s'enselle et les viscères abdominaux aspirés dans le thorax viennent combler le vide fait par la tendance à l'aspiration thoracique. On n'a finalement obtenu aucune augmentation réelle de la poitrine, mais on a produit un *déplacement* des organes abdominaux et thoraciques, déplacement accompagné d'un soulèvement des côtes, mais qui met le sujet dans l'impossibilité de respirer normalement, ou profondément.

Le diaphragme ne peut plus s'abaisser et le thorax étant mainten

dans la position d'inspiration, l'expiration ne peut plus se produire; il en résulte une gêne absolue des mouvements respiratoires, au point qu'un sujet dans cette attitude forcée est dans l'impossibilité de donner au spiromètre sa capacité respiratoire normale.

Les attitudes exagérées du rachis effectuées dans des exercices dits extensions dorsales sont aussi mauvaises au point de vue de la respiration, l'extension se fait presque exclusivement dans la région lombaire qui se courbe jusqu'à 90°, pendant que les muscles grands droits de l'abdomen sont allongés et que le thorax s'aplatit; l'abaissement du diaphragme ne peut avoir lieu à cause de la paroi abdominale fortement tendue, et l'effort accompagne presque toujours ces exercices (fig. 570).

Il est tout indiqué en bonne gymnastique d'user très modérément de ces mouvements et même de les laisser de côté.

NOTE IV

MAUVAIS EFFETS DE L'EFFORT STATIQUE EN ÉDUCATION PHYSIQUE

Dans la fibre musculaire en contraction, on constate que les parties contractiles ou disques opaques occupent une place plus grande que les disques transparents qui sont divisés par une raie sombre.

Pendant la *contraction statique* où il y a obstacle au raccourcissement de la fibre, les disques opaques changent de forme et se gonflent tandis que les disques transparents s'allongent et diminuent de diamètre pour compenser la longueur perdue par le gonflement des disques opaques.

Dans les contractions avec mouvement il faut distinguer deux cas : Celui où les extrémités du muscle *se rapprochent* (contraction concentrique) et celui où les extrémités du muscle *s'éloignent* sous l'action de la résistance que le muscle ne peut vaincre (contraction excentrique).

Dans le premier cas les disques opaques deviennent très globuleux et dans le second, ne pouvant se raccourcir, leur allongement est au détriment de leur diamètre et les disques transparents sont fortement étirés.

Un muscle auquel on demande un effort de tension se trouve dans des conditions différentes au début de son raccourcissement ou à fin de course et le maintien du raccourcissement complet demande une telle dépense de sa part et de la part des centres nerveux qu'il est impossible de le continuer longtemps.

Nous avons voulu nous rendre compte de l'influence qu'avait la charge sur la durée de la tension ou raccourcissement permanent du muscle, nous nous sommes servi de l'ergographe pour inscrire les phases successives de l'élévation d'un poids maintenu par la contraction statique des fléchisseurs d'un doigt de la main.

Les tracés obtenus montrent que, quelle que soit la charge, il est impossible de maintenir un poids à une hauteur constante, car les muscles contractés cèdent bientôt et se laissent allonger par le poids qui leur est opposé ; mais cet allongement se fait suivant une courbe différente suivant la charge et, plus cette charge est grande, plus vite se fait cet allongement. Ce résultat était à prévoir, mais les tracés sont instructifs parce qu'ils montrent la loi de cet allongement. Ce dernier se fait d'autant plus rapidement au début que le poids est plus lourd, puis, quand il s'est laissé allonger d'une certaine quantité

le muscle semble être dans une meilleure condition pour résister qu'au début. L'effort statique est donc d'autant plus pénible à continuer que le muscle est plus près de son raccourcissement maximum et bien entendu que la charge qu'il soutient est plus grande.

L'effort statique donne lieu dans les muscles à des tensions bien différentes suivant leur structure et la disposition de leurs fibres. Si les cellules contractiles sont parallèles et attelées au tendon comme des chevaux au même timon la résultante des efforts élémentaires sera la somme de ces efforts et chaque élément contractile ne supportera qu'une partie de l'effort égale à la $\frac{1}{n^e}$ fraction s'il y a *n* éléments actifs.

Si ceux-ci sont attelés bout à bout comme des chevaux de flèche l'effort résultant est encore la somme des efforts partiels, mais la tension est la même tout le long de la chaîne, elle est supportée toute entière par chacun des éléments ; l'effort est donc limité à la résistance des tissus dans ce dernier cas.

Le muscle long et mince et le muscle gros et court ne travaillent donc pas dans les mêmes conditions. Le raccourcissement du muscle est la somme des raccourcissements de ses éléments contractiles. On voit de suite que plus le muscle est long, plus il a facilité de se raccourcir, mais plus il se fatigue s'il veut conserver sa tension dans un effort statique prolongé, chacun de ses éléments devant rester contracté sous une tension considérable, ce qui n'a pas lieu dans le premier cas.

Le muscle court et large étant mieux adapté à la force et demandant pour un effort intense moins de dépense nerveuse ou une excitation de moindre intensité de la part des centres nerveux, le raccourcissement du muscle et l'augmentation de sa section sont donc une condition économique de la production d'un effort intense.

Les variations de la nutrition dans les deux cas finissent par produire l'accommodation du muscle à sa fonction.

(Voir *L'Ecole française.*)

NOTE V[1]

IMPORTANCE DU MOUVEMENT CONTINU ET COMPLET EN DIRECTION ET EN ÉTENDUE SUIVANT DES TRAJECTOIRES CURVILIGNES SUR LE DÉVELOPPEMENT MUSCULAIRE ET L'ÉDUCATION DES CENTRES NERVEUX DE COORDINATION.

L'exercice ne doit pas être considéré seulement comme moyen de développer les muscles, mais surtout comme une éducation des centres nerveux qui leur commandent en vue de la meilleure utilisation de notre énergie. Le mieux est d'otenir simultanément ces deux résultats.

a) La meilleure condition de nutrition du muscle est le mouvement complet, c'est-à-dire le mouvement du muscle travaillant en contraction concentrique et excentrique avec toute l'amplitude possible et sous une tension modérée. La contraction statique, au contraire, est un obstacle à la circulation dans le muscle ; elle est, de plus, une source de fatigue nerveuse.

Les mouvements des membres peuvent se faire dans des plans verticaux, horizontaux et obliques passant par l'axe des articulations de l'épaule et de la hanche : ce sont les plans antéro-postérieur, transversal et intermédiaires. La trajectoire de l'extrémité des membres peut être une droite, une courbe concave ou convexe, plane ou gauche ou une courbe fermée. « Cercle, ellipse... »

Dans les mouvements usuels et dans les mouvements des animaux on ne trouve pas en général de trajectoires rectilignes ; les mouvements de va-et-vient alternatifs se font toujours suivant une courbe fermée. Il suffit de citer la trajectoire de l'extrémité de l'aile de l'oiseau ou de l'insecte, le mouvement de la nageoire du poisson, les mouvements de natation de l'homme, l'aviron, la godille, l'hélice ; la patte d'un chat qui se gratte, le coup de bâton, etc., décrivent dans l'espace des courbes fermées et non des trajectoires rectilignes.

Il est indiqué de se conformer à cette loi générale d'accord avec la loi du moindre effort. Il est, en effet, plus aisé de modifier la direction du mouvement d'un membre sans annuler la vitesse, que d'arrêter cette masse en mouvement pour lui redonner en sens contraire la vitesse perdue.

Considérons ce qui se passe dans le cas d'une articulation en énarthrose dans un mouvement conique ou un mouvement de circumduction. Tous les muscles, réunis en bouquet autour de cette articula-

1. Présentée à la *Société de Biologie* le 11 juin 1910.

tion, se contractent successivement ; ils ne sont jamais en contraction statique, mais tour à tour étirés et raccourcis. Tous les faisceaux subissent une série d'élongations et de raccourcissements favorables à la circulation ; le sang y est, pour ainsi dire, pompé et exprimé à chaque révolution.

Les mouvements coniques donnent, pour cette raison, une sensation de chaleur et de bien-être toute différente de celle des contractions statiques ou des mouvement saccadés à changement de direction brutal.

Ils délassent, tandis que ceux-ci sont douloureux et fatigants.

Les mouvements articulaires coniques et complets agissent encore sur la nutrition des muscles par voie réflexe, par suite de la sensibilité particulière des articulations ; ce sont des mouvements à recommander.

b) Du côté des centres nerveux, les mouvements complets suivant des trajectoires variées, intéressent les *cellules motrices* correspondant à *tous* les faisceaux musculaires, puisque tous sont mis en jeu ; et, de plus, si l'on considère l'*image* du mouvement dans l'espace qui, s'associant à son exécution, précède et prépare celle-ci, cette image, dans les mouvements coniques, est plus nette. De là, résultent : leur supériorité éducative, la souplesse unie à l'indépendance des contractions musculaires, l'éducation du sens de la direction et de l'orientation des membres dans l'espace.

Réalisation pratique. — Je conseille donc d'exécuter les mouvements symétriques et dissymétriques des bras et des jambes dans tous les plans horizontaux, verticaux et obliques. Pour cela, je fais décrire aux extrémités, mains et pieds, des courbes *continues*, *circulaires*, *elliptiques*, *en 8*, *en spirale* dont les axes sont horizontaux, verticaux ou obliques : je fais de même pour le tronc.

Pour les articulations en charnière : genou, coude, cheville du pied, je rends les contractions des muscles moteurs indépendantes par des exercices dissymétriques et en les associant à d'autres mouvements qui ne sont pas habituellement exécutés simultanément.

Quand on a pris ainsi possession de tout son appareil locomoteur et qu'on a acquis la faculté de mouvoir avec aisance une partie du corps indépendamment des autres, on peut alors aborder les combinaisons de toutes sortes de mouvements partiels et vaincre les difficultés de rythme et de direction dans l'espace.

Le résultat de cette éducation des mouvements est double : *développement* du corps et *souplesse* complète, c'est-à-dire *harmonie* constante dans les contractions, *économie* dans la dépense musculaire et nerveuse. En se figurant ainsi dans l'espace les différents plans dans lesquels on exécute les mouvements et les diverses trajectoires à décrire, on est guidé dans l'exécution des mouvements les plus compliqués, on peut en aborder l'*improvisation* sur un chant ou sur un rythme musical et enfin exprimer par le geste une pensée ou un état psychique quelconque. Cette méthode convient au mieux à l'éducation

de la jeune fille en lui donnant avec la vigueur, la grâce et l'aisance des mouvements.

En s'associant harmonieusement en vue d'une action déterminée, les contractions musculaires produisent des effets partiels qui se composent et finalement engendrent un mouvement. La caractéristique de ce mouvement est donnée par les diverses trajectoires décrites dans l'espace par les points principaux du corps (extrémités des membres et points articulaires). Nous avons donné le moyen d'étudier cette trajectoire.

Réciproquement si nous cherchons à reproduire la trajectoire d'un point du corps dans les conditions où elle a été décrite, nous ferons les mêmes actes musculaires que ceux qui ont servi à l'engendrer.

C'est là une méthode générale d'éducation des mouvements qui se rapproche le plus de la Nature dans ce qu'elle a de plus parfait et de plus harmonieux contrairement à l'analyse qu'il faudrait abandonner complètement comme le plus grossier et le plus faux des procédés éducatifs.

(Pour les détails de la méthode, voir G. Demeny : *L'Art du Mouvement.*)

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE II

ANALYSE DES ATTITUDES ET DES MOUVEMENTS

§ 1. — Règles générales d'analyse des mouvements

Mouvements du corps.

§ 2. — Mouvements éducatifs

CHAPITRE III

LOCOMOTION

§ 1. — Analyse cinématique et dynamique des allures normales

Course.

Sauts.

CHAPITRE IV

LOCOMOTION AVEC LES BRAS

Mouvements à l'appui.

Progression à la suspension.

Progression à l'appui.

CHAPITRE V

LOCOMOTIONS ET ALLURES DIVERSES

CHAPITRE VI

CONDITIONS ÉCONOMIQUES DE L'UTILISATION DE LA FORCE MUSCULAIRE

Lois et résultats. — Mesure du travail dans les cas simples.

Applications.

APPENDICES

ÉVREUX, IMPRIMERIE PAUL HÉRISSEY

